



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**PEVNOSTNÍ ANALÝZA KONSTRUKCÍ KOMPAKTNÍCH
HYDRAULICKÝCH ZAŘÍZENÍ**

ANALYSIS OF STRUCTURES OF COMPACT HYDRAULIC EQUIPMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Sordyl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. Martin Sordyl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Pevnostní analýza konstrukcí kompaktních hydraulických zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pevnostní posouzení rámu stanice pohonu, rámu nádrže s příslušenstvím a nádrže kompaktního hydraulického agregátu firmy Bosch Rexroth, spol. s r.o.
Pomocí MKP stanovit stav napjatosti a deformace konstrukcí.

Označení rámu pohonné jednotky R987462831

Hmotnost rámu 1550 kg

Označení rámu nádrže R987465202

Hmotnost rámu 985 kg

Označení nádrže R987465188

Hmotnost nádrže 1430 kg

Cíle diplomové práce:

Stručná rešerše problematiky kompaktních hydraulických agregátů firmy Bosch Rexroth, spol. s r.o.
Pevnostní analýza stávajícího řešení pro provozní stav a manipulaci s rámy.
Určení nevhodně dimenzovaných částí s ohledem na bezpečnost a možnosti úprav.
Výkresy sestav rámů a nádrže.

Seznam doporučené literatury:

NEPRAŽ, František. Modelování systémů s hydraulickými mechanismy. Brno: Bosch Rexroth, 2002. ISBN 8021421878.

WUNDERLICH, Walter and Gunter KIENER. 2004. Statik der Stabtragwerke. 1, ed. Wiesbaden: Vieweg & Teubner. ISBN 3519050617.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Předmětem této diplomové práce je provedení stručné rešerše aktuálního konstrukčního řešení kompaktních hydraulických agregátů, uskutečnění MKP výpočtu s cílem nalezení nevhodně dimenzovaných míst konstrukcí. Na základě těchto dat poté navrhnout možnost optimalizace konstrukcí a vytvořit výkresovou dokumentaci. Tato diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou Bosch Rexroth, spol.s.r.o.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nádrž, rám, metoda konečných prvků, hydraulika, pevnostní analýza

ABSTRACT

The subject of this thesis is realization of short research of current compact hydraulic power unit, realization of FEM analysis with aim to find inappropriately dimensioned parts of structures. Based on this data design optimized solution of structures and create drawings of weldments. This thesis is carried out in cooperation with company Bosch Rexroth, spol.s.r.o.

KEYWORDS

Tank, frame, finite element method, hydraulics, strength analysis.



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SORDYL, M. *Pevnostní analýza konstrukcí kompaktních hydraulických zařízení*. Brno, 2019. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 70 s. Vedoucí diplomové práce Přemysl Pokorný.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Bc. Martin Sordyl



PODĚKOVÁNÍ

Zde bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Přemyslu Pokornému Ph.D. a konzultantovi z firmy Bosch Rexroth, spol.s.r.o. panu Ing. Janu Pokornému, Ph.D. stejně jako členům konstrukčního oddělení za jejich ochotu a cenné rady při vypracovávání této diplomové práce. Rovněž bych rád poděkoval své rodině za jejich podporu a trpělivost.

OBSAH

Úvod	9
1 Cíle diplomové práce	10
2 Úprava dat zadání	11
3 Problematika kompaktních agregátů	12
4 Aktuální konstrukční řešení	14
4.1 Rám pohonné jednotky	14
4.2 Nádrž	15
4.3 Rám nádrže	16
5 Zatěžovací stavy, předpoklady	17
5.1 Zatěžovací stavy rámu pohonné jednotky	17
5.2 Zatěžovací stavy nádrže	19
5.3 Zatěžovací stavy rámu nádrže	21
6 MKP analýza	25
6.1 Použité prvky/vazby/zatížení/materiál v modelech	25
6.2 Nahrazení/idealizace konstrukčních prvků	27
6.3 Skořepinové modely	30
7 Výsledky pevnostní analýzy	35
7.1 Mezní stavy	35
7.2 Výsledky pevnostní analýzy rámu pohonné jednotky	36
7.3 Výsledky pevnostní analýzy nádrže	40
7.4 Výsledky pevnostní analýzy rámu nádrže	44
8 Výsledky optimalizace	49
8.1 Pevnostní analýza optimalizovaných konstrukcí	49
8.2 Úspora materiálu	59
8.3 Výkresová dokumentace	59
Závěr	60
Použité informační zdroje	61
Seznam použitých zkratk a symbolů	63
Seznam příloh	64

ÚVOD

Hydraulika je v dnešní době velmi rozšířená technická disciplína, která se zabývá využitím vlastností tekutin pro technické účely. Základním principem je vytvoření tlakové energie v tekutině a využití přenosu energie z místa vzniku do místa spotřebiče s možností regulace a ovládání tohoto toku energie, které se díky rozvoji řídicí elektroniky zdokonalují a zefektivňují. Jedná se o nepostradatelnou a nenahraditelnou součást nejen průmyslu, ale rovněž v oblastech stavebnictví, zemědělství či dopravní technice. [1];[2]

Statická hydraulická zařízení jsou aplikována v širokém spektru uplatnění. Jejich funkce může být, jak bylo zmíněno, tvorba tlakové energie, její přenos do místa spotřeby a následná přeměna na mechanickou energii. Takové hydraulické zařízení se skládá z několika hlavních částí. Mezi základní části patří pohonná jednotka (zdroj tlakové tekutiny), nádrž, spotřebič, vedení hydraulické kapaliny. Každá z těchto hlavních částí se skládá z dalších nutných celků, které jsou klíčové pro správnou funkci. Mezi takové celky například patří filtrační jednotka, chladicí jednotka, řídicí jednotka, hydrogenerátory, akumulární jednotka. Ve výsledném stavu může statický hydraulický agregát sloužit k ovládání a pohonu lisů či rozměrných zařízení, ovládání lopatek turbín, nebo jako centrální zdroj tlakové tekutiny. [1];[2]



1 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

- Stručná rešerše problematiky kompaktních agregátů firmy Bosch Rexroth, spol. s.r.o.
- Pevnostní analýza stávajícího konstrukčního řešení rámu pohonné jednotky pro stavy manipulace a provozní stav
- Pevnostní analýza stávajícího konstrukčního řešení nádrže pro stav manipulace a provozní stav
- Pevnostní analýza stávajícího konstrukčního řešení rámu nádrže pro stavy manipulace a provozní stav
- Určení nevhodně dimenzovaných částí konstrukcí s ohledem na bezpečnost
- Provedení konstrukčního návrhů optimalizovaných řešení rámu a nádrže na základě výsledků analýz původních konstrukcí
- Provedení pevnostních analýz vybraných zátěžných stavů optimalizovaných konstrukcí
- Vytvoření výrobní výkresové dokumentace pro rám pohonné jednotky
- Vytvoření výrobní výkresové dokumentace pro nádrž
- Vytvoření výrobní výkresové dokumentace pro rám nádrže

2 ÚPRAVA DAT ZADÁNÍ

Během procesu vypracovávání diplomové práce byly na konstrukcích provedeny konstrukční změny, kvůli kterým hodnoty hmotností ze zadání nejsou aktuální vůči konstrukcím, které byly použity jako výchozí modely pro analýzy a následnou optimalizaci.

Aktuální hmotnosti konstrukcí

- | | | |
|------------------------|------------|--------|
| • Rám pohonné jednotky | R987462831 | 1598kg |
| • Nádrž | R987465188 | 1666kg |
| • Rám nádrže | R987465202 | 947kg |

3 PROBLEMATIKA KOMPAKTNÍCH AGREGÁTŮ

Konstrukční provedení hydraulických agregátů firmy Bosch Rexroth, spol.s.r.o. bylo historicky zaměřeno dle požadavků zákazníků na nízkou frekvenci údržby či výměnu oleje, snadný přístup při montáži a servisu. Od toho se odvíjel přístup k tvorbě nosných konstrukcí pro tyto agregáty.



obr. 1 – původní řešení pohonné jednotky [3]

Na obr. 1 je vidět původní řešení pohonné jednotky hydraulického agregátu. Motory jsou umístěny horizontálně. Vibrace jsou tlumeny pomocí silent-bloků. Vysokotlaké potrubí se nachází před motory a hydrogenerátory. Jedná se o prostorově náročné řešení na zástavbovou plochu, rovněž samotná konstrukce má výraznou hmotnost, což znesnadňuje manipulaci a zvyšuje požadavky na manipulační zařízení jak u výrobce i u zákazníka. [3]



obr. 2 – původní řešení nádrže [3]

Na obr. 2 je vidět původní řešení nádrže hydraulického agregátu. Rozvodové bloky jsou umístěny na víku nádrže. Nádrž jako taková byla umístěna ve výšce cca 5 metrů. Většina potrubí je vedena do víka nebo dna nádrže. Opět je vidět, že se jedná o prostorově náročnou konstrukci.

Aktuální trendy však směřují více směrem snížení zástavbového prostoru všech prvků hydraulického agregátu. Z tohoto důvodu je nutno udělat kompromisy v konstrukčním návrhu ve směru jednoduchosti, snadného servisu, přístupnosti a nutno odebírat se směrem sofistikovanějších a složitějších konstrukcí, které zároveň mají zvýšené požadavky na nutnost pevnostních analýz. Samotné snížení objemu oleje v obvodu/nádrži má negativní vliv na větší opotřebení oleje v obvodu, zvýšení obsahu vzduchových bublin, čistotu oleje, častější výměnu oleje, a celkově servis agregátu.

4 AKTUÁLNÍ KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

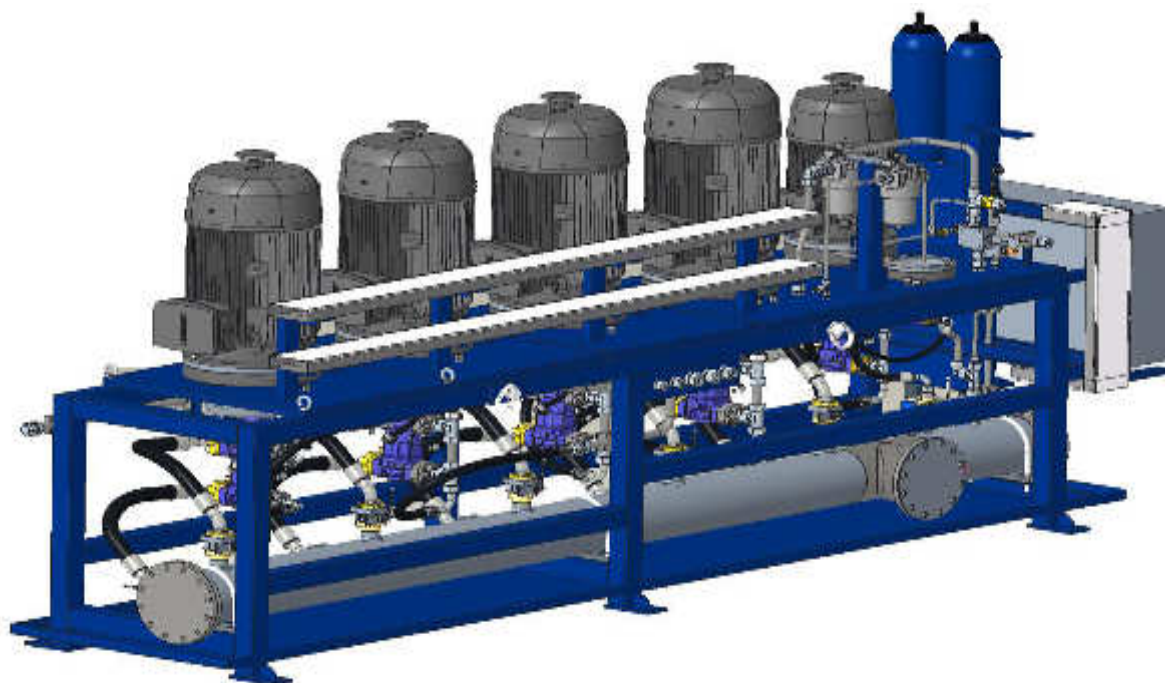
Rámy a nádrž, jejichž analýza je cílem této diplomové práce, jsou svařené konstrukce. Nádrž a rám nádrže se během procesu montáže stanou jedním celkem a je s nimi dále tak nakládáno. Pohonná jednotka i nádrž s příslušenstvím je umístěna na podlaze. Samotné konstrukce jsou popsány ve svých odpovídajících kapitolách.

Problémy, které jsou spojeny se zmenšením objemu oleje v obvodu, jež jsou zmíněny v kapitole 3, se řeší pomocí přidáním dodatečných filtrů, rozměrnějších chladičů a difuzoru. Dále je rovněž nutný sofistikovanější systém přepážek v nádrži, aby byla možnost alespoň částečného uklidnění oleje v nádrži, které je způsobeno vlivem neustálého proudění oleje a zároveň malým objemem oleje v nádrži. [3]

4.1 RÁM POHONNÉ JEDNOTKY

Rám je určený k upevnění pohonných jednotek, které jsou sestaveny z elektromotoru, tlumících kroužků, hydrogenerátoru a hydraulických prvků, potřebných pro správnou funkci. Mimo upevnění pohonných jednotek slouží k uchycení hydraulického potrubí (sací, vysokotlaké), elektroinstalace, hydraulických rozvaděčů, ventilů, akumulátorových lahví a dalších prvků. Rám je tvořen především ze čtvercových profilů, plochých tyčí, plechů válcovaných za tepla. Okapová vana je ohýbaný plech, jehož polotovarem je plech válcovaný za studena.

Jak lze vidět na obr. 3 hlavní podélné nosníky tvoří jekly čtvercové průřezu, které jsou v horní části spojeny opět jekly čtvercové průřezu a v dolní části L-profilu. Jako podélná výztuha okapové vany slouží L-profilu, ke kterým je přivařena. Samotná vana je ohýbaný plech s výřezy pro nohy rámu, v těchto místech je pak vana přivařena ke zmíněným nohám. Rám má dosedací patky se šrouby pro upevnění do betonové podlahy a pro vymezení případné vůle, způsobenou nepřesností výroby nebo nerovností podlahy.

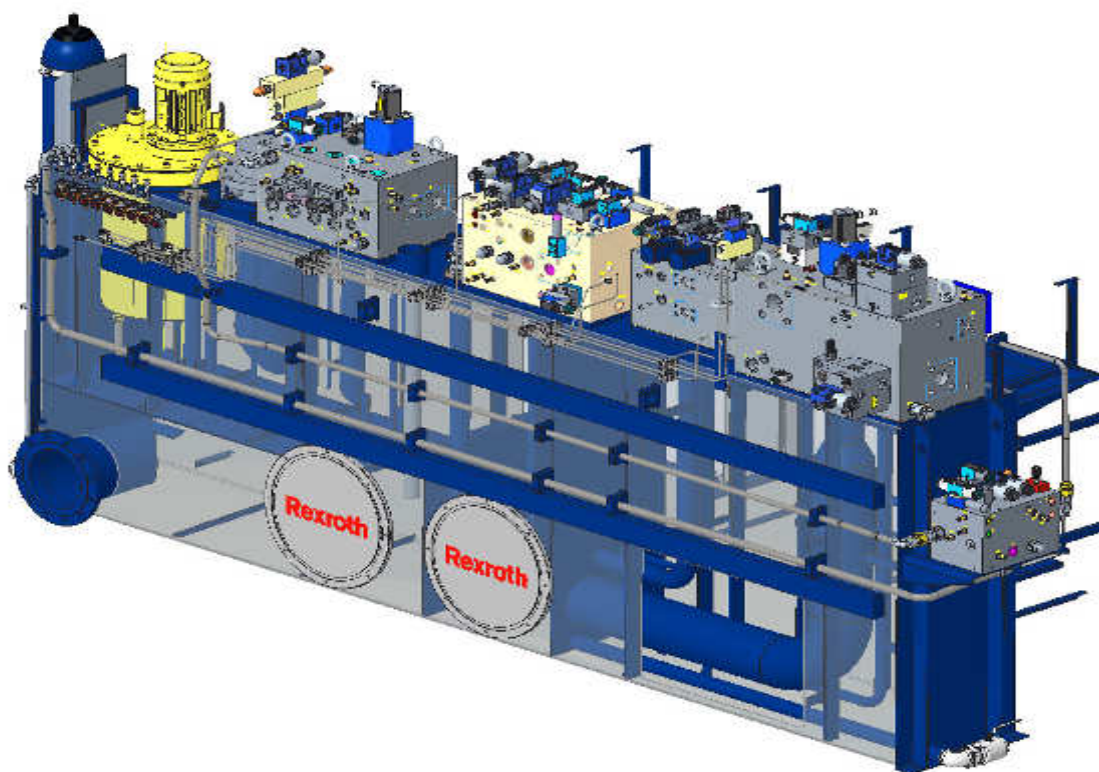


obr. 3- aktuální řešení - pohonná jednotka [3]

4.2 NÁDRŽ

Mimo funkci uskladnění oleje, nádrž plní i roli nosné konstrukce pro rozvodové bloky, potrubí, akumulátorovou lahev, difuzér, tlakoměry a další hydraulické prvky.

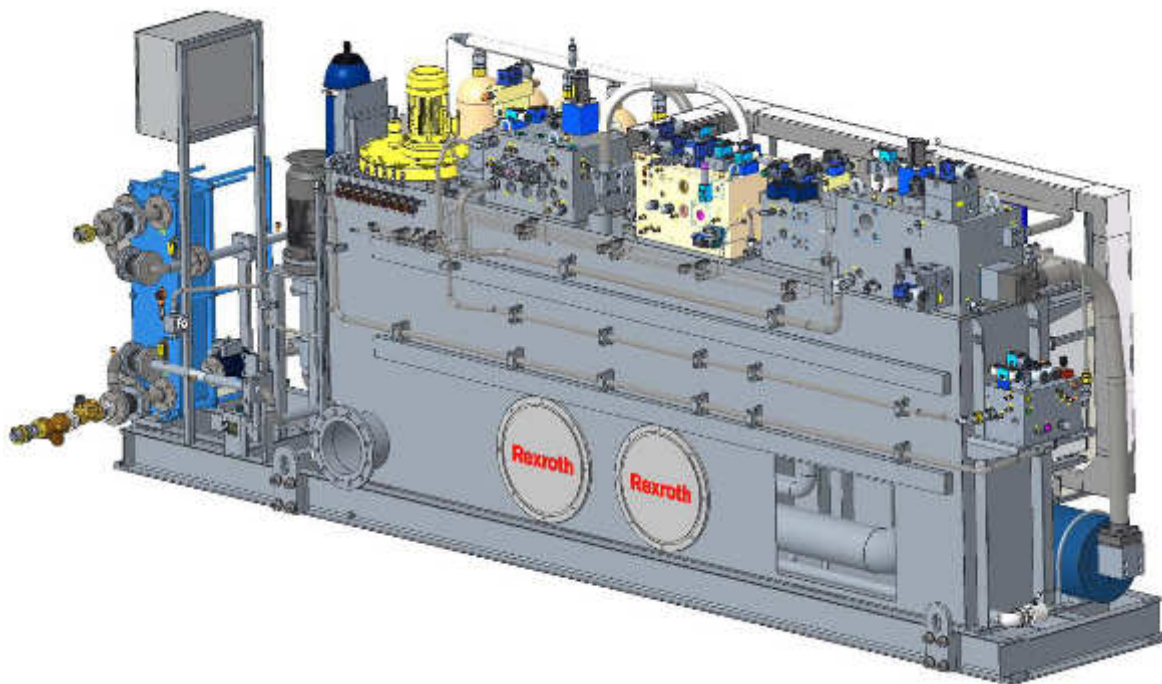
Nádrž je v porovnání s ostatními mnohem složitější svařenec, složený hlavně z plechů válcovaných za studena/tepla, plochých tyčí, v malém množství tyče obdélníkového průřezu, viz obr. 4. Hlavní kostra nádrže je tvořena ohnutými plechy do tvaru L, které slouží jako boční stěny, ke kterým je přivařen ohnutý plech do tvaru U, který tvoří přední/zádní stěnu a dno. Stěny, dno, víko, i některé přepážky jsou zpevněny pomocí žeber. Žebra mají vždy zkosené rohy kvůli snížení vlivu koncentrace napětí do míst přechodu z jednoho konstrukčního prvku na další. Na víku jsou přivařeny tlusté desky pro upevnění rozvodových bloků a pro upevnění trubek vedoucích do nádrže. Vnitřní objem nádrže je rozdělen přepážkou na část bez oleje a část s olejem. V této přepážce jsou rovněž upevněny trubky vedoucí skrz část bez oleje. Všechny trubky vedoucí do nádrže jsou připevněny ke stěnám/dnu, přepážkám pomocí plochých tyčí. Konzola pro potrubí vedoucí nad nádrží je tvořena z jeklů obdélníkového průřezu, čtvercových tyčí, a plochých tyčí ve formě žeber. Rovněž tak elektroinstalace je umístěna na podobných konzolách, s rozdílem ploché tyče přivařené ke stěně nádrže pro připevnění pomocí šroubů. Tato metodika je uplatněna na všech místech, kde je potřeba šroubový spoj, cílem je předejít vrtání do stěn nádrže z důvodu těsnosti.



obr. 4 – aktuální řešení – nádrž [3]

4.3 RÁM NÁDRŽE

Opět se jedná o svařenec, viz obr. 5. Podélné i příčné vnější nosníky jsou tvořeny z U-profilů s orientací ven. Všechny podélné a příčné vnitřní nosníky jsou z nerovnoramenných L-profilů s orientací delší stěny ve svislém směru. Konce příčných nosníků, které jsou připevněny do podélného nosníku, jsou upraveny pro správné přilnutí a možnost přivaření. Rám slouží jako nosná konstrukce pro nádrž se všemi jejími prvky, akumulátorové lahve, rozměrově velký pístový akumulátor, elektro-skříň.



obr. 5 – aktuální řešení - nádrž s rámem – kompletní sestava [3]

5 ZATĚŽOVACÍ STAVY, PŘEDPOKLADY

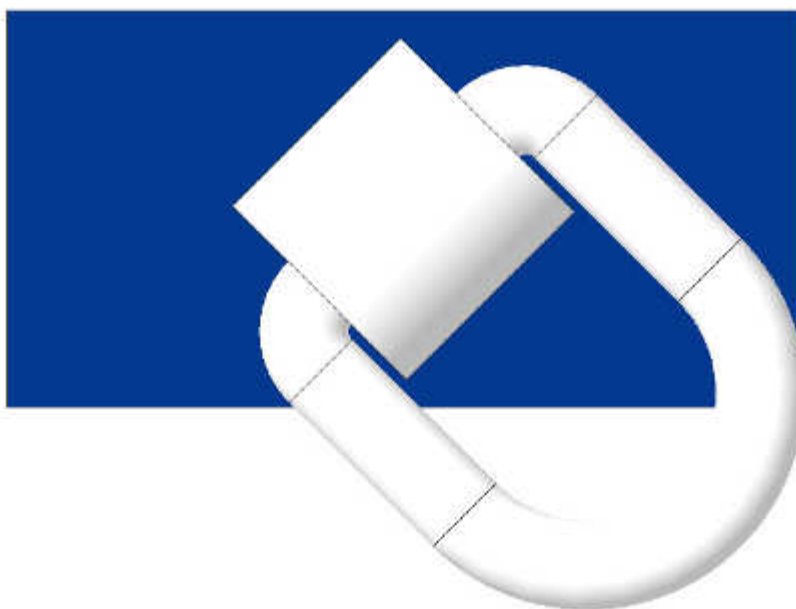
Tato kapitola slouží k přesné definici všech zatěžovacích stavů včetně definicí/hodnot zatížení, předpokladů, které jsou aplikovány na výpočtové modely a zjednodušení modelů. [1]

5.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY RÁMU POHONNÉ JEDNOTKY

Tato kapitola se zabývá výpočtovými stavy, pro které bude model rámu simulován. Během celé očekávané životnosti zmíněného rámu jsou výrazné zátěžné stavy spojené s manipulací s rámem a pracovní poloha.

5.1.1 MANIPULACE S RÁMEM

Manipulace s rámem probíhá pomocí jeřábu, lan a čtyř závěsných ok. Závěsná oka jsou nakupovaný díl, viz obr. 6, přivařený na plochou tyč, která je poté přivařena na boční stěnu podélných nosníků. Tato manipulace probíhá ve dvou stavech rámu. Manipulace pouze se samotným rámem, tedy pouze konstrukce rámu bez jakýchkoliv přídavných komponent. Druhý stav je manipulace s rámem po montáži. V tomto stavu je rám zatížen vlastní tíhou a tíhou všech prvků. Lana pro výpočet zvedání pouze samotného rámu jsou délky 3m a nosností 1 tuny každé, pro zvedání rámu s komponenty jsou délky 4m a nosností 2 tuny každé. Během obou těchto stavů na rám nepůsobí žádné vnější silové zatížení mimo tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. S ohledem na velmi nízkou rychlost manipulace s rámem, především ve svislém směru, se neuvažuje žádné další dodatečné zrychlení, tedy dochází k zanedbání dynamických účinků při manipulaci. Rám bude simulován pro oba stavy manipulace.



obr. 6 – závěsné oko přivařené na plochou tyč [3]

5.1.2 PRACOVNÍ POLOHA

Pracovní poloha je stav, ve kterém je rám postavený na ideálně rovném pevném podloží a na všech šesti patkách. Během tohoto stavu je rám zatížen vlastní tíhou a tíhou všech prvků, na něm umístěných. V úvahu je bráno i zatížení od oleje v potrubí umístěném na rámu. Tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Simulace zahrnuje i dodatečné stavy, ve kterých rám nestojí na všech patkách. Vzhledem k vysokému počtu možných kombinací se jedná pouze o simulace s funkčními třemi či čtyřmi patkami. V praxi by takovému stavu dojít nemělo, přesto je provedena simulace, pro znalost chování rámu, vzhledem k vysoké hmotnosti prvků na rámu umístěných, při možném poškození podloží. Hodnoty hmotností prvků uvažovaných ve výpočtovém modelu jsou uvedeny v tab. 1.

Přibližný výpočet hmotnosti oleje v potrubí

$$m_o = V_o \cdot \rho_o = \frac{d_o^2 \cdot \pi}{4} \cdot l_o \cdot \rho_o = \frac{0,2604^2}{4} \cdot 5,152 \cdot 920 \cong 250 \text{ kg} \quad (1)$$

m_o – hmotnost oleje v potrubí

V_o – objem oleje v potrubí

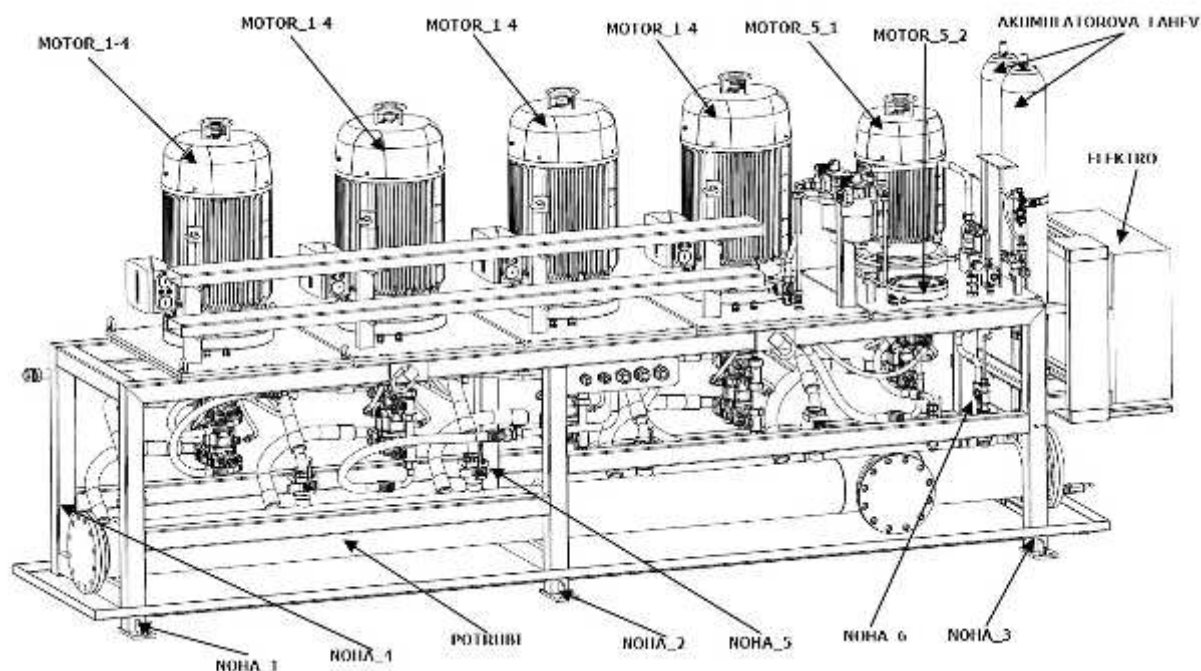
ρ_o – hustota oleje

d_o – světlost potrubí

l_o – délka potrubí

tab. 1 – Hmotnosti zatěžujících prvků [3]

Název prvku	Hmotnost
-	m [kg]
MOTOR_1-4	855
MOTOR_5_1	405
MOTOR_5_2	300
AKUMULATOROVA_LAHEV	115
POTRUBI	320+250
ELEKTRO	50



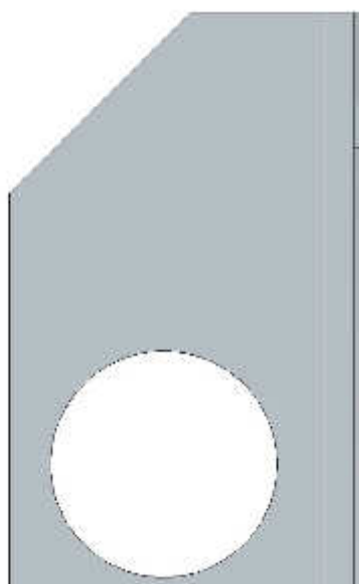
obr. 7 – schéma pohonné jednotky [3]

5.2 ZATĚŽOVACÍ STAVY NÁDRŽE

Tato kapitola se zabývá výpočtovými stavy, pro které bude model nádrže simulován. Během celé očekávané životnosti zmíněného rámu jsou výrazné zátěžné stavy spojené s manipulací s nádrží a pracovní poloha. Na rozdíl od manipulace s rámem pohonné jednotky, zde dochází pouze k manipulaci se samotnou nádrží. K manipulaci s nádrží s hydraulickými komponenty a dalšími prvky dochází pouze prostřednictvím rámu nádrže.

5.2.1 MANIPULACE S NÁDRŽÍ

Manipulace s nádrží probíhá opět pomocí jeřábu, lan a čtyř závěsných ok. Závěsná oka jsou vytvořena z konstrukčního dílu nádrže, který zároveň slouží jako žebro, viz obr. 8. Lana předpokládaná pro manipulaci s nádrží jsou délky 3m a nosností 1 tuny každé. Během manipulace je uvažováno působení pouze tíhového zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



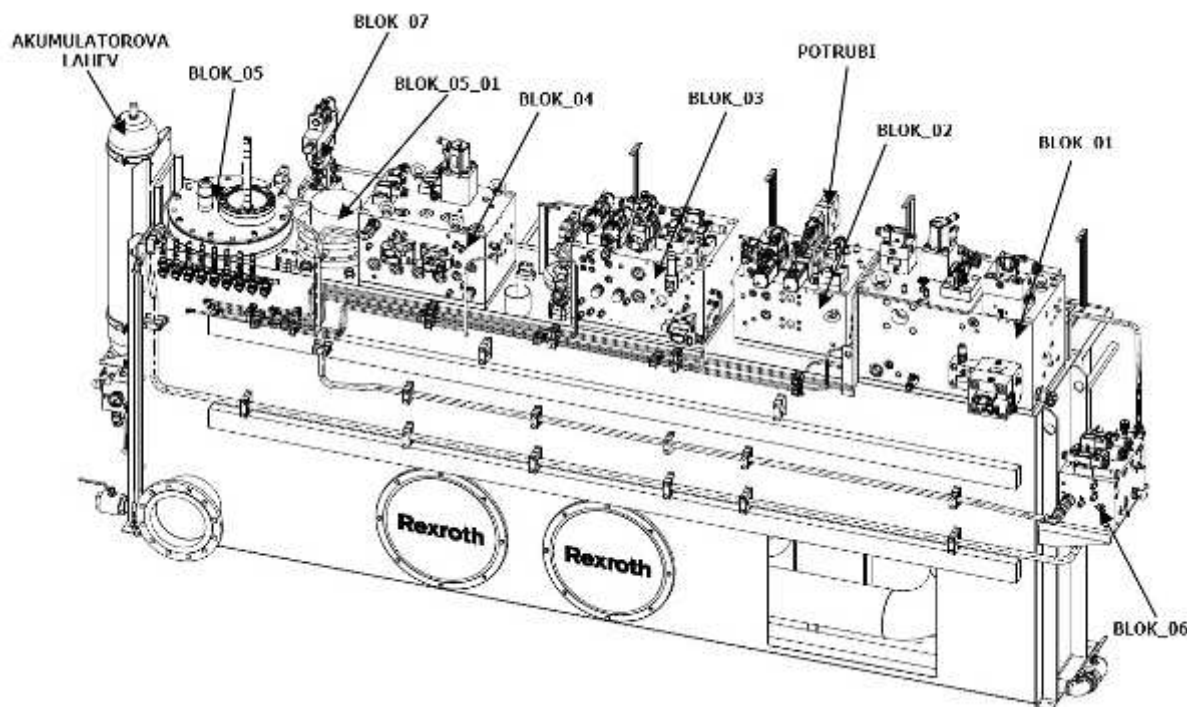
obr. 8 – závěsné oko nádrže [3]

5.2.2 PRACOVNÍ POLOHA

Při pracovní poloze je nádrž položena a přišroubována k rámu nádrže, je osazena hydraulickými prvky, potrubím, elektroinstalací a dalšími prvky, je naplněna olejem do výšky maximální návrhové hodnoty (1340mm od ploch, na kterých je nádrž položena na rámu). Model je zatížen pouze tíhovým zrychlením $g = 9,81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ a náhradou vík nádrže (více v kapitole***). Hmotnosti jednotlivých komponent, které jsou použity ve výpočtovém modelu, jsou v tab. 2.

tab. 2 – Hmotnosti zatěžujících prvků [3]

Název prvku	Hmotnost
-	m [kg]
BLOK_01	1070
BLOK_02	490
BLOK_03	750
BLOK_04	590
BLOK_05	110
BLOK_05_01	80
BLOK_06	190
BLOK_07	25
AKUMULATOROVA_LAHEV	85
POTRUBI	300
ELEKTRO	100



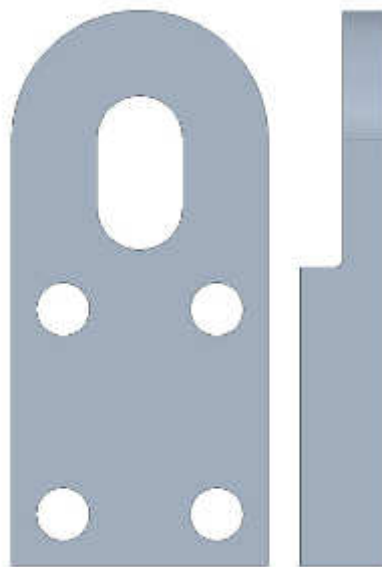
obr. 9 - schéma nádrže [3]

5.3 ZATĚŽOVACÍ STAVY RÁMU NÁDRŽE

Tato kapitola se zabývá výpočtovými stavy, pro které bude model rámu simulován. Rám nádrže během své životnosti je zatěžován několika stavy, které jsou v simulaci kontrolovány. Je očekávána manipulace se samotným rámem, manipulace s rámem osazeným nádrží včetně všech komponentů, poloha při montáži u zákazníka a pracovní poloha.

5.3.1 MANIPULACE S RÁMEM

Manipulace opět probíhá pomocí jeřábu, lan a čtyř závěsných ok, viz obr. 10. Závěsná oka jsou samostatně vyráběný díl, který je ke konstrukci přišroubován pomocí čtyř šroubů velikosti M30. Manipulace je uvažována ve více stavech. Prvním stavem je zvedání pouze samotného rámu, druhým je manipulace s rámem s nádrží a všemi komponenty. Pro oba manipulační stavy jsou uvažovány lana o délce 4m a nosnosti 2tuny každé. Při všech těchto zatěžných stavech je uvažováno zatížení pouze tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a předpětím šroubů závěsných ok. Výpočet předpětí šroubů je řešen v kapitole 6.2.1.



obr. 10 – závěsné oko rámu nádrže [3]

5.3.2 MONTÁŽNÍ POLOHA U ZÁKAZNÍKA

Při tomto výpočtovém stavu je rám položen na patkách, které jsou umístěny v rozích rámu, případně na pár dalších místech pro snížení deformace rámu dle posouzení montážního týmu, ale tyto místa jsou nepředvídatelná, nejsou definována v montážní dokumentaci, jejich vliv na snížení deformace a napětí v rámu je značný, a proto nejsou v modelu uvažovány. Tato poloha umožňuje plochu pod rámem podlít betonem a zajistit tak dokonalé položení rámu. Rám je při tomto zátěžném stavu osazen nádrží a všemi dalšími komponenty. Nádrž je během této doby prázdná. Rám je zatížen tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a předpětím šroubů závěsných ok.

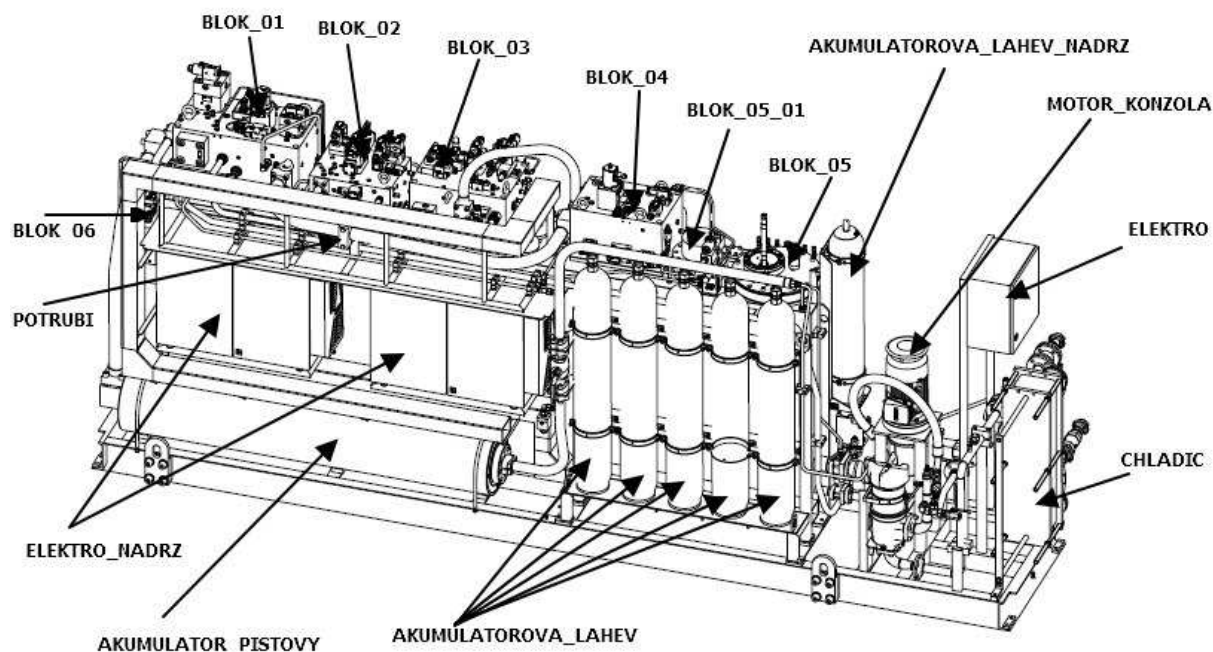
5.3.3 PRACOVNÍ POLOHA

Při pracovní poloze je rám položen na ideálně rovné, tuhé podlaze, je osazen nádrží, všemi komponenty. Nádrž je napuštěna olejem do maximální výšky uvedené v konstrukčním návrhu. Rám je zatížen tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a předpětím šroubů závěsných ok. Hmotnosti jednotlivých komponent uvažovaných ve výpočtovém modelu jsou uvedeny v tab. 3.

tab. 3 – Hmotnosti zatěžujících prvků [3]

Název prvku	Hmotnost
-	m [kg]
NADRZ	1666
AKUMULATOROVA_LAHEV	100
AKUMULATOROVA_LAHEV_NADRZ	85
AKUMULATOR_PISTOVY	760
ELEKTRO	50
ELEKTRO_NADRZ	100
CHLADIC	260
MOTOR_KONZOLA	80
FILTR	20
OLEJ	1800
BLOK_01	1070
BLOK_02	490
BLOK_03	750
BLOK_04	590
BLOK_05	110
BLOK_05_01	80
BLOK_06	190
BLOK_07	25
POTRUBI	300

Jak je patrné z tab. 3 a obr. 11 výrazně se na zatížení rámu bude podílet tíha samotné nádrže a komponentů na ní umístěných. V pracovní poloze se k tomu přidá hmotnost oleje. Komponenty rozložené po zbytku rámu mají velmi malé hmotnosti v a již v této fázi se dají očekávat velmi výrazné rozdíly napětí v konstrukci.



obr. 11 - Schéma rámu nádrže [3]

6 MKP ANALÝZA

MKP (metoda konečných prvků) je numerická metoda využívající prvky konečných rozměrů tzv. elementů, kterými nahrazujeme a idealizujeme v modelu součást. Její princip spočívá v diskretizaci spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvků, přičemž zjišťované parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech. [4];[5]

Analýza včetně tvorby FEM modelu byla realizována v programu NX I-deas verzi 6.1. Přestože použité prvky, nastavení atd. je mezi různými výpočetními softwary velmi podobné principem, terminologie použitá v této práci odpovídá prostředí zmíněného softwaru.

6.1 POUŽITÉ PRVKY/VAZBY/ZATÍŽENÍ/MATERIÁL V MODELECH

Tato kapitola pojednává o prvcích použitých ve FEM modelech, které nahrazují reálné prvky konstrukcí, jejich vlastnostech, definici v prostředí NX-Ideas, aplikaci v modelu.

6.1.1 NODE

Node neboli uzel je základní prvek, pomocí kterého se definují ostatní elementy. Node má vždy 6 deformačních parametrů a může přenášet další informace. Mimo nodů tvořených automaticky při tvoření FEM sítě, byl tento prvek používán pro tvorbu pomocných elementů jako například beam, rod, spring. [6]

6.1.2 THIN SHELL

Jedná se o základní prvek používaný při modelování skořepinových modelů. Element je definován rohovými uzly a středovým uzlem, který nese informace o vlastnostech elementu. Obecně lze říci, že nejvhodnější element tohoto druhu je čtvercový, který je upřednostněn ve FEM modelech na střednicové plochy plechů, jeklů, trubek atd. [6]

6.1.3 BEAM

1D element, který je definován dvěma krajními nody a středovým nodem definujícím vlastnosti tohoto elementu. Tento element má několik dalších typů, ale v modelech je využit pouze přímý prvek. Beam je schopen přenášet tah/tlak/kрут/ohyb/střih a je v modelech použit jako náhrada šroubů, nebo pro rozložení zatížení či vazebních podmínek. [6]

6.1.4 ROD

1D element, který je definován dvěma krajními nody, a středovým nodem, definujícím vlastnosti tohoto elementu. Rod je schopen přenášet zatížení tah/tlak. V modelu je aplikován jako náhrada zvedacích lan. [6]

6.1.5 SPRING

Element definovaný dvěma krajními nody a středovým definujícím vlastnosti tohoto elementu. Prvek slouží k náhradě více druhů pružin. V modelu je použit pouze jako lineární tažná/tlačná pružina s nízkou tuhostí (10N/mm) pro stabilizaci modelů při simulaci manipulačních zatěžovacích stavů. [6]

6.1.6 RIGID

Element s nulovou hmotností a nekonečnou tuhostí. Může spojovat dva nody, nebo jeden node (masternode) s více nody. V modelu je použit pro rozložení spojení lan se závěsnými oky. [6]

6.1.7 CONSTRAIN

Element s nulovou hmotností a konečnou tuhostí. Oproti elementu rigid, zde je pouze možnost spojení masternodu s více nody. Prvek je použit v modelech pro rozložení zatížení, hmotností, či vazebních podmínek (podlaha-rám;rám-nádrž). [6]

6.1.8 LUMPED MASS

Element definovaný nodem nesoucím informace. Jedná se o náhradu hmotných těles. Nastavované parametry jsou hmotnost a setrvačné momenty. V případě nulových setrvačných momentů se z elementu stává pouze hmotný bod. V modelu slouží k náhradě hydraulických rozvodových bloků, akumulátorů, filtrů, chladičů, potrubí, rozvodových skříní, motorových skupin. [6]

6.1.9 FORCE ON NODE

Zatížení definované do jednoho nodu. Je možno definovat jako funkci, ale v modelech bylo použito pouze konstantní hodnoty. Force on node je použita na modelu nádrže jako náhrada a v modelu rámu nádrže na předpětí šroubů závěsných ok. [6]

6.1.10 HYDROSTATIC PREASSURE

Zatížení umístěno na středový node elementů. Zatížení je použito v modelu nádrže v zatěžovacím stavu „pracovní poloha“ jako náhrada tlaku od oleje. Zatížení je definováno na plochu elementů, plochou od, které program počítá známou hodnotu tlaku, pozitivní směr růstu tlaku, a koeficient roven součinu tíhového zrychlení a hustotě tekutiny. [6]

6.1.11 ACCELERATIONS

Zatížení sloužící jako náhrada translačního nebo rotačního zrychlení. Ve všech FEM modelech je uplatněno tíhové zrychlení v záporném směru osy y $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. [6]

6.1.12 DISPLACEMENT RESTRAIN

Vazební podmínka definovaná na node umožňující definici 6 deformačních parametrů. V modelu je aplikována jako náhrada ukotvení lan v háku, pevné uložení rámu nádrže na podlaze. [6]

6.1.13 POUŽITÝ MATERIÁL

Materiál použitý ve všech simulacích je homogenní, izotropní materiál, jehož vztah mezi deformací a napětí je uvažován lineární, tedy dle Hookova zákona. Materiál je nastaven v prostředí I-deas jako výchozí s parametry uvedenými v tab. 4

tab. 4 – Vlastnosti použitého materiálu

Veličina	Značení	Hodnota	Jednotka
Modul pružnosti v tahu	E	206,8	GPa
Modul pružnosti ve smyku	G	80,2	GPa
Hustota	ρ	7820	$\frac{kg}{m^3}$
Poissonovo číslo	ε	0,29	—

6.2 NAHRAZENÍ/IDEALIZACE KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ

Při tvorbě modelů byly učiněny simplifikace a náhrady pro možnost tvorby výpočtového modelu, zjednodušení složitosti modelu či snížení výpočtového času. Mezi taková zjednodušení patří vynechání částí konstrukcí, které nemají důležitou roli pro funkci konstrukcí nebo nepřenášejí žádné zatížení.

6.2.1 NÁHRADA ŠROUBOVÉHO SPOJENÍ DESEK RÁMU POHONNÉ JEDNOTKY

Z výkresové dokumentace je zřetelné, že desky, na kterých jsou umístěny motorové jednotky, jsou k rámu konstrukce a plochým tyčím připojeny pomocí šroubů. Množství šroubů podél stěn je na každé desce stejné, konkrétně se jedná o 7 šroubů M16. Pro dokonale správnou výpočtovou simulaci by musel být nastaven kontakt mezi deskami a plochými tyčemi, a zároveň vytvořena náhrada šroubového spojení včetně sil předpětí. Tímto by došlo ke značnému zvýšení složitosti výpočtu a zvětšení výpočetní doby. Proto byla provedena náhrada pomocí vytvoření svarových ploch, které spojují desky s plochými tyčemi. Tato náhrada částečně zvýší tuhost konstrukce a tedy i vznikající napěťové špičky ve zmíněných oblastech, na úkor snížení deformace a zjednodušení výpočtu.

6.2.2 NÁHRADA VÍK NA NÁDRŽI

Na nádrži jsou umístěny víka zakrývající otvory na údržbu. Tyto víka jsou připevněna pomocí 8 šroubů každé. Otvory jsou velikosti 500mm a jsou v přední stěně nádrže, jako takové mají výrazný vliv na tuhost stěny a chování napětí v jejich okolí. Pro naprosto přesnou simulaci, náhrada vík by musela spočívat ve vymodelování samotných vík a jejich spojení s nádrží pomocí zmíněných šroubů, vytvoření předpětí ve šroubovém spoji a kontaktní vazbu mezi víky a stěnou nádrže.

Pro zátěžný stav „manipulace s nádrží“ je tato náhrada složitá a proto vliv vík je v plném rozsahu zanedbán.

Pro zátěžný stav „pracovní poloha“ nádrže je nutno vzít v potaz hydrostatický tlak oleje působící na plochu vík. Tento vliv byl zahrnut do náhrady použitím silového zatížení s konstantní hodnotou, která je poté rozložena do míst, ve kterých se nachází šrouby na připevnění vík. Tímto způsobem dojde k adekvátní náhradě zatížení způsobeného hydrostatickým tlakem oleje, ale k zanedbání tuhosti způsobené víky.

Výpočet síly nahrazení tlaku

$$\begin{aligned}
 p &= h \cdot \rho_o \cdot g \\
 p &= \frac{F_V}{S} \Rightarrow F_V = p \cdot S = h \cdot \rho_o \cdot g \cdot S = h \cdot \rho_o \cdot g \cdot \frac{\pi \cdot d_V^2}{4} \\
 &= 1 \cdot 920 \cdot 9,81 \cdot \frac{\pi \cdot 0,5^2}{4} = 1772N \\
 p &- \text{hydrostatický tlak} \\
 h &- \text{vzdálenost středu víka od hladiny oleje} \\
 \rho_o &- \text{hustota oleje} \\
 g &- \text{tíhové zrychlení} \\
 S &- \text{plocha víka, na kterou působí olej} \\
 d_V &- \text{průměr plochy víka, na kterou působí olej} \\
 F_V &- \text{nahrazující síla působení hydrostatického tlaku na víko nádrže}
 \end{aligned} \tag{2}$$

6.2.3 VLIV PROUDĚNÍ V NÁDRŽI

V nádrži se nachází velké množství trubek přivádějící/odvádějící olej, které by tímto mohli způsobit nečekané silové zatížení působící na nádrž. Dle hydraulických schémat byl kontrolován vliv odpadního potrubí při maximálním průtoku. Při této kontrole je zanedbáno tlumení, které vzniká vířením oleje, a kontrola byla provedena pouze výpočtem silového účinku proudu oleje na přepážku nádrže. Maximální průtok zmíněnou trubkou byl 3000 litrů za minutu skrz trubku s vnitřním průměrem 206,5mm a při uvažované hustotě oleje 920 kilogram na metr kubický.

$$F = \rho_o \cdot \frac{Q_v^2}{S_p} = \rho_o \cdot \frac{4 \cdot Q_v^2}{d_p^2 \cdot \pi} = 920 \cdot \frac{4 \cdot (3000 \cdot 0,001)^2}{\pi \cdot 60^2 \cdot (206,5 \cdot 0,001)^2} = 68,67N \tag{3}$$

F – síla od toku oleje
 ρ_o – hustota oleje
 Q_v – objemový průtok v potrubí
 S_p – plocha působení proudu oleje
 d_p – světlost potrubí

Hodnota této síly je v porovnání se silovými účinky od tlaku a dalšími zatíženími malá. Dalším důležitým bodem je, že tento výpočet naprosto zanedbává jakýkoliv odpor prostředí a tedy závěrem je, že vypočtenou sílu zanedbáme.

6.2.4 ZAVĚŠENÍ

Pro zatěžovací stavy manipulací s rámy a nádrží je nutné zajištění správné náhrady zavěšení. Náhrada lan byla provedena pomocí elementu rod. Uchycení lan je v horní části provedeno svedením do nodu, který je beamem spojen s nodu nahrazujícím hák. Tento node má zamezený jakýkoliv posuv. V dolní části jsou lana spojeny s konstrukcí prvkem beam a rigid. Prvek beam pouze složí jako spojovací člen mezi lany a elementem rigid, který rozvádí toto upevnění do příslušných částí konstrukce (zvedací oka).

6.2.5 ZÁVĚSNÁ OKA RÁMU POHONNÉ JEDNOTKY

Závěsná oka rámu pohonné jednotky se skládají ze dvou částí. Části přivařené k plechu a tedy k rámu, a části, která má možnost rotace okolo jedné osy. Vlivem výrobních

tolerancí je možná mírná pohyblivost těchto pohyblivých část, které by potencionálně mohla mít negativní vliv na konstrukci rámu, avšak kvůli složitosti je ve výpočtovém modelu zanedbána. Zjednodušení spočívá v přemístění uchycení len z konce této pohyblivé části do středu osy rotace pohyblivé části.

6.2.6 SÍLA PŘEDPĚTÍ A KONTAKT PLOCH

Zde byl proveden výpočet síly předpětí, která byla aplikována ve výpočtovém modelu. Síla předpětí působí tahové napětí šroubu a vytváří tlak mezi kontaktními plochami. Je nutné, aby velikost této síly byla dostatečná a zajistila, že nedojde ke ztrátě funkčnosti kontaktu. Součinitel statického tření mezi jednotlivými deskami byl volen dle [7] 0,15, protože se jedná o kontakt dvou ocelových ploch (suchý styk).

Výpočet síly předpětí

Jsou uvažovány šrouby M30 třídy 8.8 lehce olejované. [10]

tab. 5 – Hodnoty získané ze zdrojů

Název veličiny	Značení	Hodnota	Jednotka
Utahovací moment [9]	M_{p1}	1246	Nm
Střední průměr závitu [8]	d_{30}	27,46	mm
Součinitel [11]	k_p	0,18	-
Síla předpětí [9]	F_{p1}	307	kN

$$F_p = \frac{M_{p1}}{d_{30} * k_p} = \frac{1246}{0,02746 * 0,18} = 252083N \cong 252kN \quad (4)$$

Vypočtená síla předpětí je nižší nežli hodnota definovaná zdrojem [9], proto je vhodnější pro simulaci volit vypočtenou hodnotu.

6.2.7 NÁHRADA PRVKŮ NA KONSTRUKCÍCH

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.1.8, náhrada prvků umístěných na konstrukcích byla provedena pomocí elementu lumped mass. Vzhledem k tvarové složitosti některých prvků a nedostatečných dat z originálního modelu, byly tvary některých prvků idealizovány pro výpočet setrvačných momentů, pro dosazení do definice lumped mass konkrétních elementů.

6.2.8 PRACOVNÍ POLOHA NÁDRŽE

Nádrž v pracovní poloze je umístěna na rámu nádrže. Konkrétně na dvou plochých tyčích velikosti 80x20x600. Ty se vlivem působení tíhy nádrže, prvků a oleje deformují a mění tím vazební podmínky pro nádrž. Pro dokonale správný model by bylo nutné obě sestavy včetně zatížení umístit do jednoho modelu, přiřadit jim vzájemný kontaktní vztah a provést výpočet. Tento model by byl značně složitý, časově náročný a vliv na výsledky minimální, proto jsou vazební podmínky nádrže v pracovní poloze idealizovány.

6.3 SKOŘEPINOVÉ MODELY

Skořepinové modely jsou tvořeny pomocí střednicových ploch, jejímž elementům se poté přiřazuje tloušťka plochy. Pro snadnější přehlednost jsou elementy střednicových ploch obarveny v závislosti na své tloušťce či funkci ve všech modelech stejně, avšak kvůli menšímu počtu barev, se některé opakují. Některé tloušťky jsou vizuálně zaokrouhleny kvůli zmíněnému nedostatku barevné palety (obarveny barvou nejbližší tloušťky).

6.3.1 BAREVNÉ OZNAČENÍ VE FEM MODELECH

V tab. 6 a

tab. 7 níže jsou uvedeny tloušťky střednic použitých v modelu, označení ploch, které mají unikátní funkci nebo elementy a jejich korespondující barevné označení.

tab. 6 - Tloušťky střednicových ploch dle tloušťky stěny

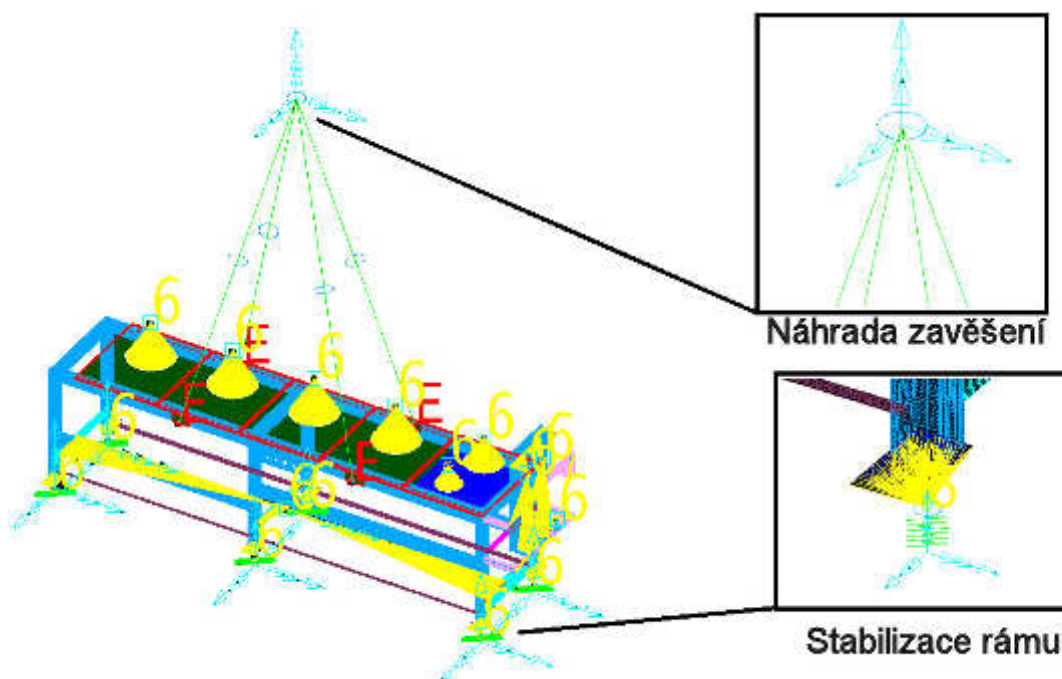
Tloušťka	Barva ve FEM modelu
t [mm]	-
1	Červená
2	Modrá
3	Barva 16
4	Zelená
5	Světle modrá
6	Purpurová
7	Růžová
8	Žlutá
9	Tmavě zelená
10	Tyrkysová
12	Šedá modř
15	Modrá
20	Tmavě olivová
25	Světle purpurová
30	Oranžová
36	Zelená
60	Zlatě oranžová

tab. 7 - Tloušťky střednicových ploch/elementů dle funkce

Funkce	Barva ve FEM modelu
Svary	Červená
Zatížení	Bílá
Spring	Zelená
Rigid	Červená
Constrain	Žlutá
Beam	Bílá
Rod	Zelená
Lumped mass	Tyrkysová

6.3.2 FEM MODEL RÁMU POHONNÉ JEDNOTKY

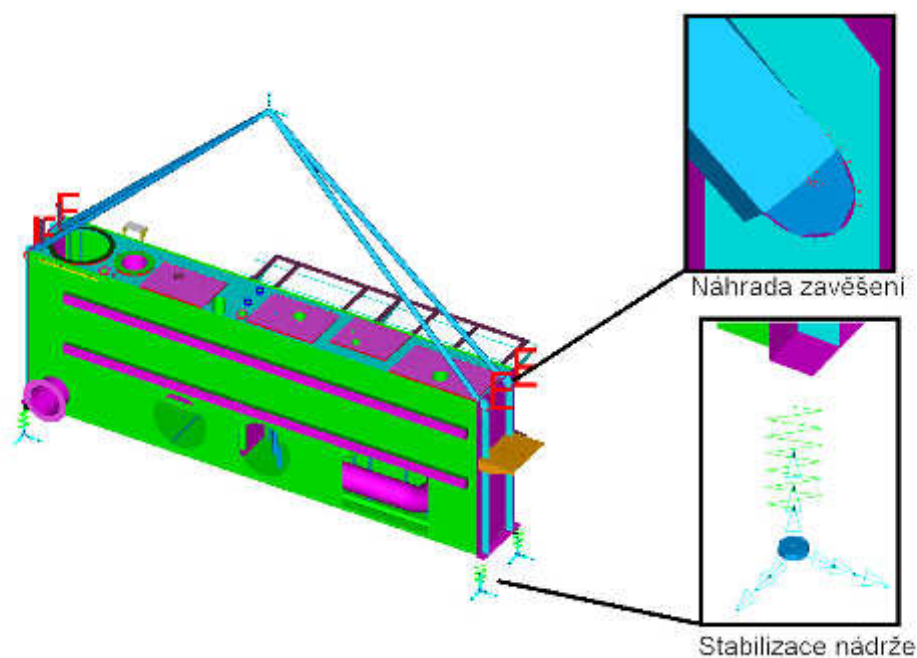
Na obr. 12 je vidět FEM model rámu pohonné jednotky v zátěžném stavu manipulace. Je zřetelně vidět žlutou barvou rozložení elementů lumped mass, které nahrazují motorové skupiny, akumulátorové lahve, a potrubí. Tyrkysovou barvou jsou nastaveny restrain sety, jedná se o okrajové podmínky stanovující deformační parametry vazebních nodů. Zelenou barvou jsou měkké pružiny, jejichž účelem je stabilizace rámu při výpočtovém stavu manipulace. Hodnota jejich tuhosti byla volena experimentálně, aby umožnila dostatečnou míru deformace (10N/mm). Červenou barvou jsou viditelné svarové plochy, zjednodušení, jež bylo objasněno v kapitole 6.2.1.



obr. 12 – FEM model rámu pohonné jednotky – drátěný model

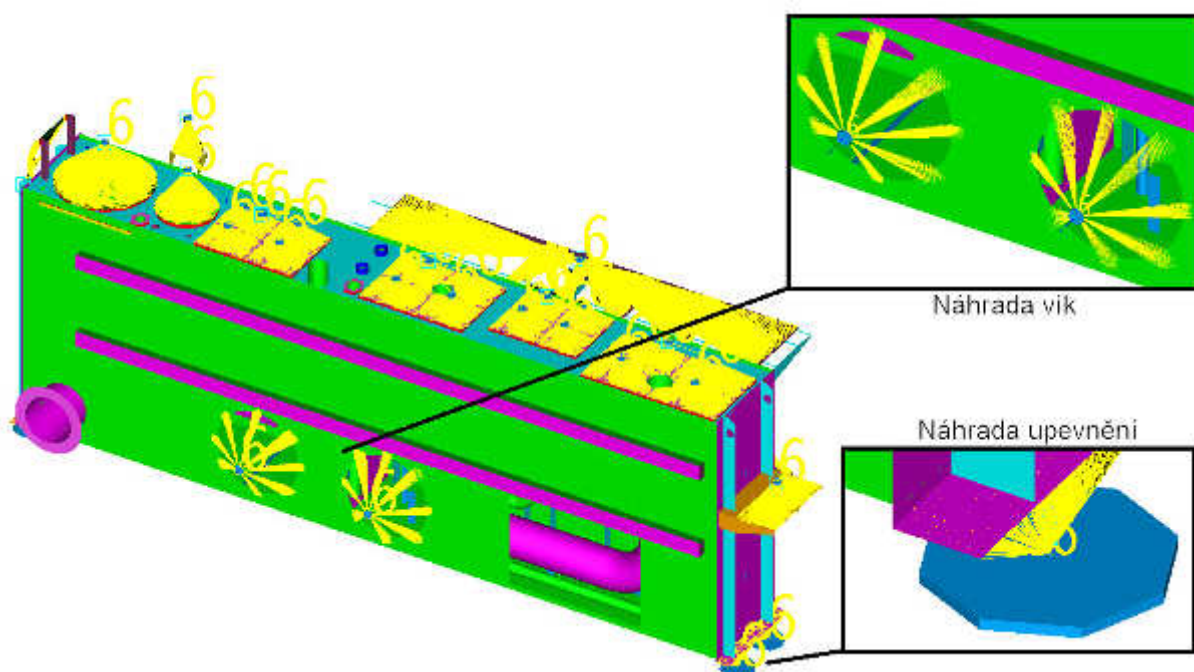
6.3.3 FEM MODEL NÁDRŽE

Na obr. 13 je zobrazen FEM model nádrže v zátěžném stavu manipulace. Náhrada zavěšení je opět řešena svedením lan do jednoho bodu, který je pomocí naddimenzovaného prvku beam spojen s pevně upevněným bodem, nahrazujícím bod uchycení na háku. Stabilizace nádrže je řešena stejným způsobem, tedy spojením pevně uchycených bodů v prostoru s částmi nádrže, kde při tomto zátěžném stavu dojde k nejmenšímu ovlivnění výsledů. Pořád je však nutno při vyhodnocování výsledků brát tyto vazební podmínky v potaz.



obr. 13 – FEM model nádrže – stínovaný hardware

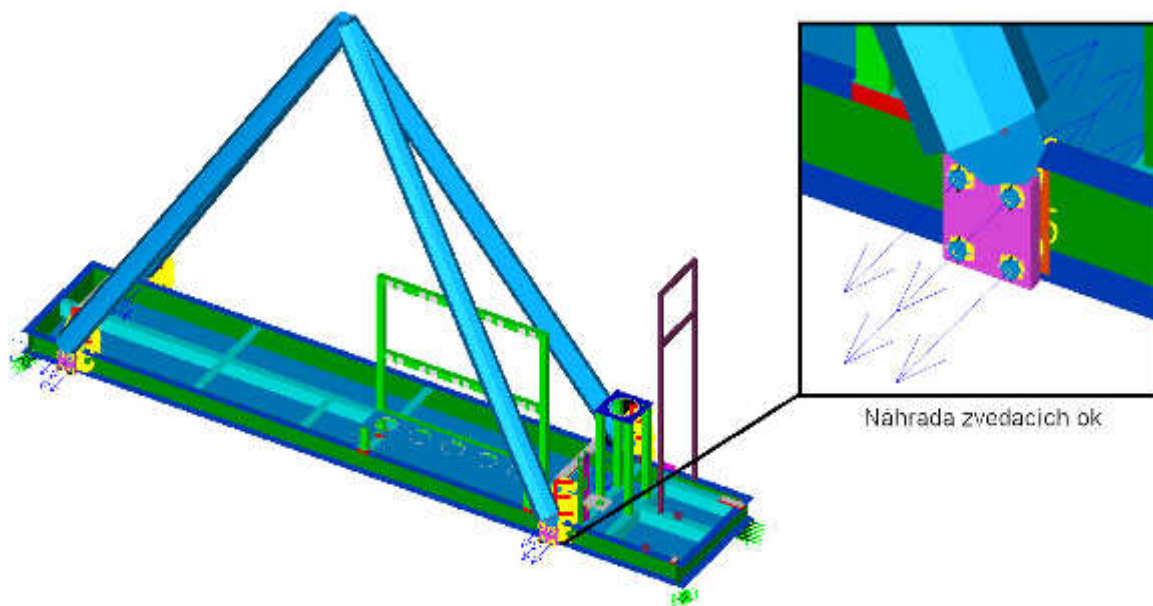
Na obr. 14 je FEM model nádrže v pracovním zátěžném stavu. Žlutou barvou jsou vidět constrain vazby, které na modelu roznášejí zatížení od elementů lumped mass, nebo od silového zatížení. Silové zatížení bylo řešeno v kapitole 6.2.2 a jedná se o náhradu vík včetně náhrady tlaku hydraulického oleje. Dále pak také slouží k roznesení vazebných podmínek.



obr. 14 – FEM model nádrže – stínovaný hardware

6.3.4 FEM MODEL RÁMU NÁDRŽE

Na obrázku *** je FEM model rámu nádrže při zátěžném stavu manipulace pouze s rámem, přičemž v detailu je znázorněno upevnění závěsných ok k rámu pomocí šroubů. Jak bylo řešeno v kapitolách *** a ***, jedná se o kontakt ploch závěsných ok s deskami vyvařenými do rámu. Stejně jako rám pohonné jednotky a nádrž při manipulaci je nutno zajistit stabilizaci, která zde rovněž byla řešena měkkými pružinami. Rám akumulátorových lahví pro pístový akumulátor byl vyšetřován při zátěžných stavech rámu nádrže, ale manipulace s ním samotným nebyla v této práci řešena.



obr. 15 – FEM model rámu nádrže – stínovaný hardware

7 VÝSLEDKY PEVNOSTNÍ ANALÝZY

V této kapitole je stanoveno, podle jakých parametrů jsou posuzovány výsledky analýzy a samotné vyhodnocení zátěžných stavů dle těchto parametrů. Rovněž je zde návrh optimalizace konstrukce.

7.1 MEZNÍ STAVY

Na konstrukce rámu a nádrže je použit materiál 1.0038/S235JR, a na duté profily 1.0039/S235JRH. Ekvivalentem v ČSN normě je materiál 11375. Meze kluzu jsou dle [12];[13] pro tloušťky menší než 40mm rovna 235MPa.

tab. 8 – Mez kluzu dle polotovaru

Materiál	Polotovar	Charakteristický rozměr	Mez kluzu
S235JR	Plech válcovaný za tepla	$t < 40\text{mm}$	235
S235JR	Plech válcovaný za tepla	$40\text{mm} < t < 80\text{mm}$	215
S235JR	Dutý profil	$t < 40\text{mm}$	235
S235JR	Dutý profil	$40\text{mm} < t < 80\text{mm}$	215

Za mezní hodnotu napětí při vyhodnocování bude uvažovaná „návrhová pevnost“. Jedná se o hodnotu napětí vycházející z hodnoty meze kluzu daného materiálu modifikovaná koeficientem, jež zohledňuje použití materiálu (polotovar/namáhání). Výpočtová pevnost je rozdělena na tři hodnoty. Hodnota součinitele spolehlivosti vychází ze zdrojů [12];[13];[14]. První hodnota odpovídá součiniteli spolehlivosti pro standardní použití s hodnotou 1,1. Druhá hodnota odpovídá součiniteli spolehlivosti pro standardní použití polotovarů, které oslabeny otvory, a jeho hodnota je 1,25. Poslední hodnota součinitele odpovídá polotovarům, které slouží jako stěny nádrže, a hodnota je 1,25.

Návrhová pevnost pro konstrukční prvky standardního použití

$$f_{yd1} = \frac{Re_{S235}}{\gamma_{M1}} = \frac{235}{1,1} = 214\text{MPa} \quad (5)$$

Návrhová pevnost pro konstrukční prvky oslabené otvory

$$f_{yd2} = \frac{Re_{S235}}{\gamma_{M2}} = \frac{235}{1,25} = 188\text{MPa} \quad (6)$$

Návrhová pevnost pro stěny nádrže

$$f_{yd3} = \frac{Re_{S235}}{\gamma_{M3}} = \frac{235}{1,25} 188\text{MPa} \quad (7)$$

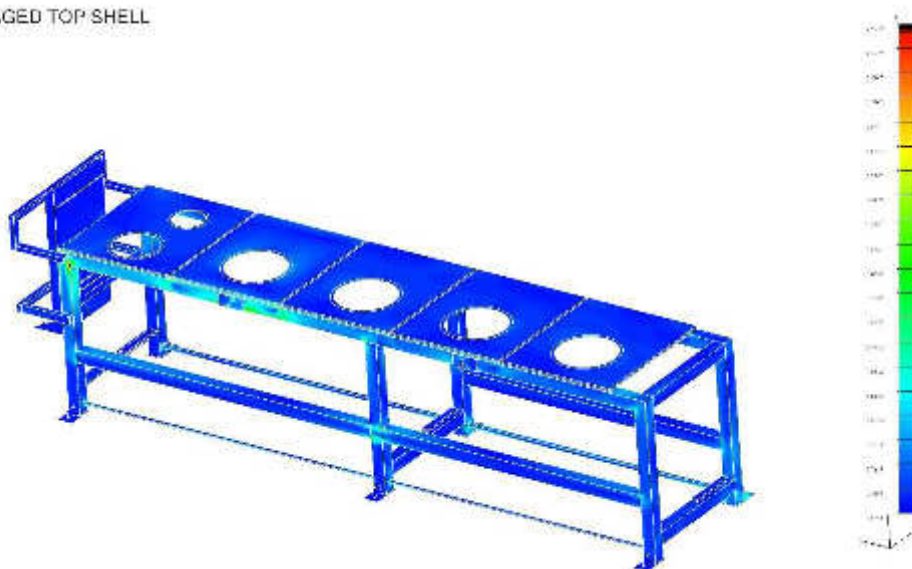
7.2 VÝSLEDKY PEVNOSTNÍ ANALÝZY RÁMU POHONNÉ JEDNOTKY

Tato kapitola se zabývá výsledky MKP analýzy rámu pohonné jednotky, zjištěnými napětími, extrémy, způsobenými deformacemi a jejich vzájemným ovlivněním konstrukce jako takové. Z těchto závěrů je pak vyvozen návrh optimalizace.

7.2.1 MANIPULACE POUZE S RÁMEM

Na obr. 16 je zobrazen rám pohonné jednotky při manipulaci pouze s rámem. Stupnice je nastavena 0-25MPa. Maximální napětí 33,2MPa vzniká ve spojení střednic dvou nosníků. Jedná se o koncentrátor způsobený metodou modelování a náhradou svarových ploch. Reálné napětí v místě bude nižší vlivem zaoblení, které v místě vytvoří svarové spojení. V nohách rámu v oblasti patky je vzniklé napětí způsobené vyrovnávacími pružinami. Veškeré napětí v rámu se hodnotou pohybuje pod hodnotou povolenou. Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P1; P2

ANALYZA_ZVEHDANI
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 4.25E+2Pa
MAX: 3.32E+7Pa

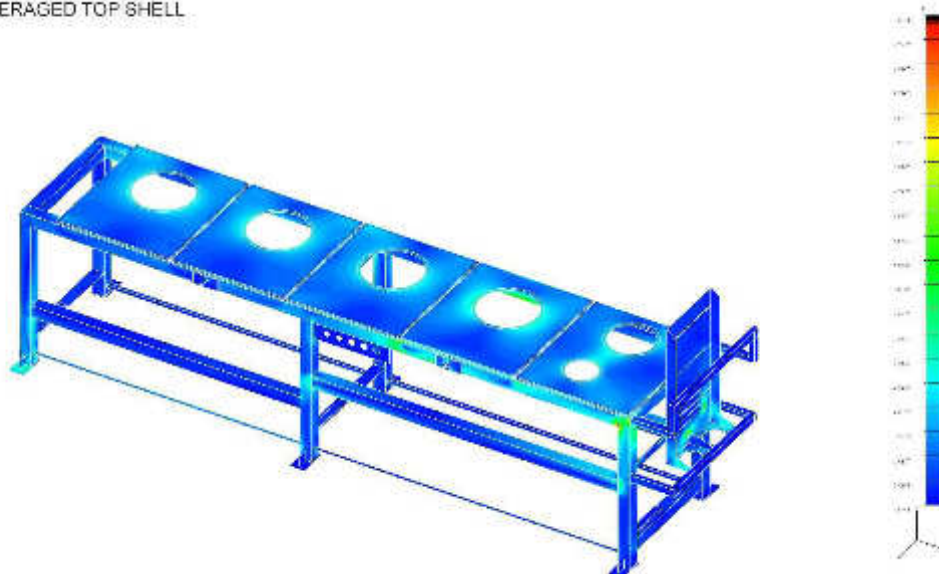


obr. 16 – rám pohonné jednotky – manipulace pouze s rámem; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 33,2MPa

7.2.2 MANIPULACE

Na obr. 17 je zobrazen rám pohonné jednotky při manipulaci s rámem a všemi prvky. Maximální špička napětí opět vzniká v místě spojení dvou střednic nosníků a hodnota je 137MPa. Další místo se špičkou napětí je konzola na akumulátorové lahve, konkrétně místo spojení konzoly a žebra. Zvýšené napětí se dá rovněž pozorovat v okolí závěsných ok převážně na straně k akumulátorovým lahvím. Opět se veškeré napětí pohybuje pod povolenou hodnotou napětí.

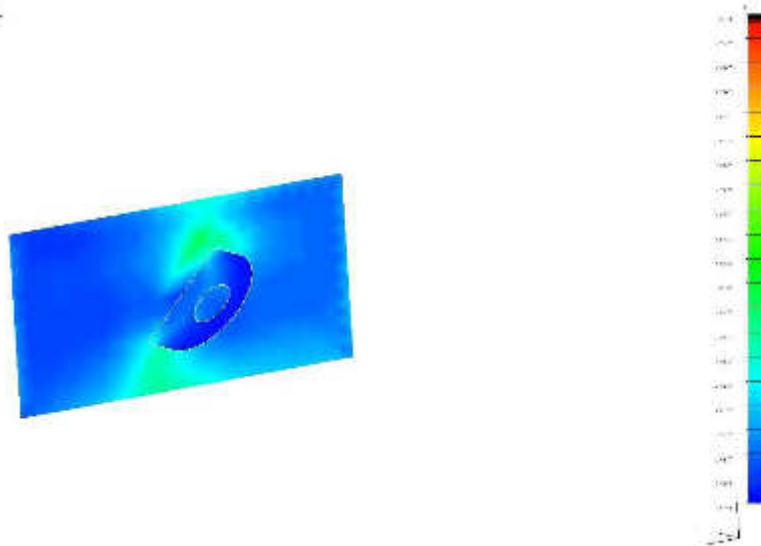
ANALYZA MANIPULACE
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 4.25E+2Pa
MAX: 1.37E+8Pa



obr. 17 - rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa

Na obr. 18 je vidět nejzatíženější zvedací oko s extrémem napětí 41,8MPa. Jedná se o oko na straně blíže k motorům a akumulátorovým lahvím.

ANALYZA MANIPULACE
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 1.52E+4Pa
MAX: 4.16E+7Pa

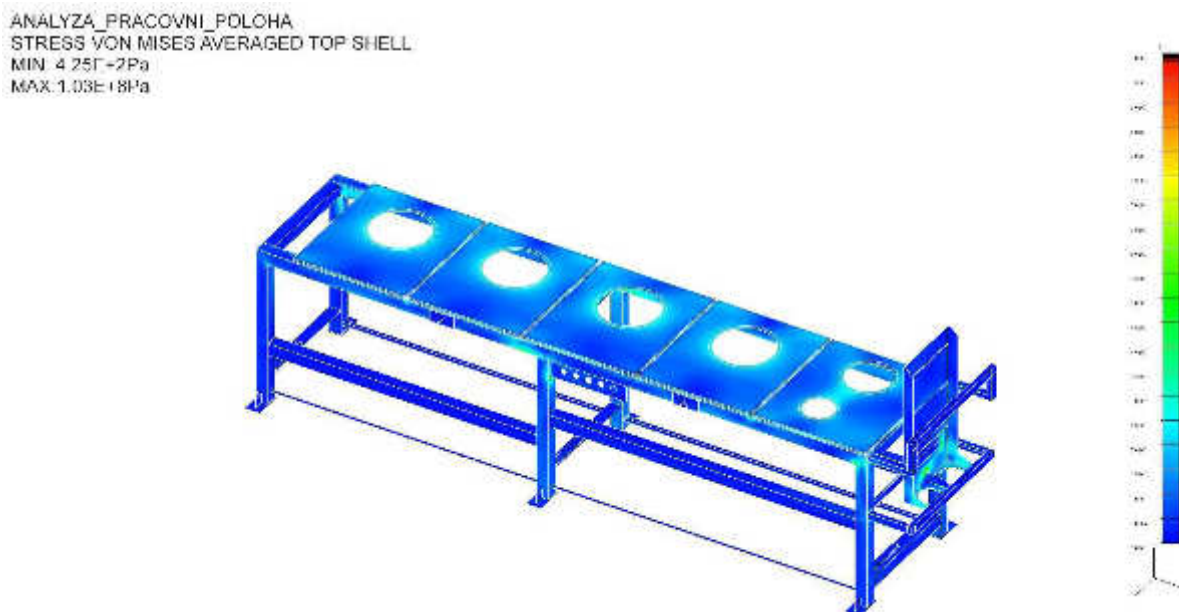


obr. 18 – závěsné oko rámu pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 41,6MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P3; P4; P5; P6; P7; P8

7.2.3 PRACOVNÍ POLOHA

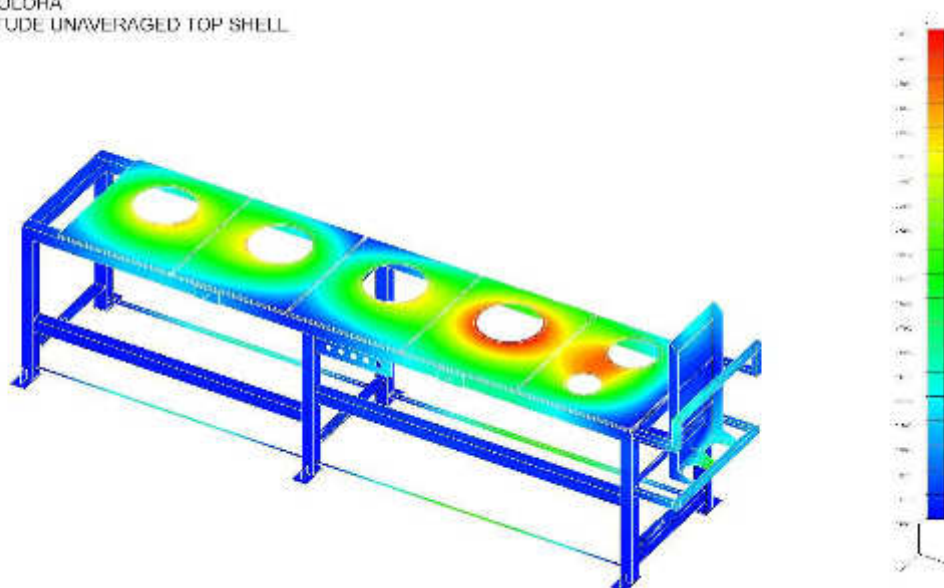
Na obr. 19 je rám pohonné jednotky v pracovní poloze. Všechny 6 noh jsou funkční. Maximální napětí 103MPa je ve spojení konzoly akumulátorových lahví a žebra. Napětí v rámu mimo koncentrátoři, kde se setkávají střednicové plochy, se pohybuje přibližně od 10 do 50MPa. Prostřední pár nohou je výrazněji zatížen v porovnání vůči ostatním profilům stejného rozměru s výjimkou podélných nosníků pod deskami.



obr. 19 – rám pohonné jednotky - pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa

Na obr. 20 je vyobrazeno absolutní hodnota deformace. Maximální hodnota je 1,69mm v místě motoru 4, kde dojde k velkému průhybu hlavních podélných nosníků a zároveň velkému průhybu desky pod motorem, protože na rozdíl od ostatních desek se nachází v místě, kde je v příčném směru podepřena pouze párem plochých tyčí. Tato hodnota je velmi malá a celkové deformace způsobená na rámu je v rámci dovolených možností, a kdy nedojde k poškození namontovaných komponentů vlivem deformace rámu.

ANALÝZA_PRACOVNÍ_POLOHA
DISPLACEMENT MAGNITUDE UNAVERAGED TOP SHELL
MIN: 1.27E-7M
MAX: 1.09E-3M



obr. 20 – rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-1,69mm; max. deformace 1,69mm

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P9; P10; P11; P12; P13; P14; P15.

Pro tento rám byly provedeny ještě dodatečné simulace, jak je uvedeno v kapitole 5.1.2. V tab. 9 jsou uvedeny vazebné podmínky (1 – funkční vazba; 0 – nefunkční vazba), maximální vzniklé napětí a odkaz na přílohu. Přičemž značení vazeb/nohou rámu je na obr. 7.

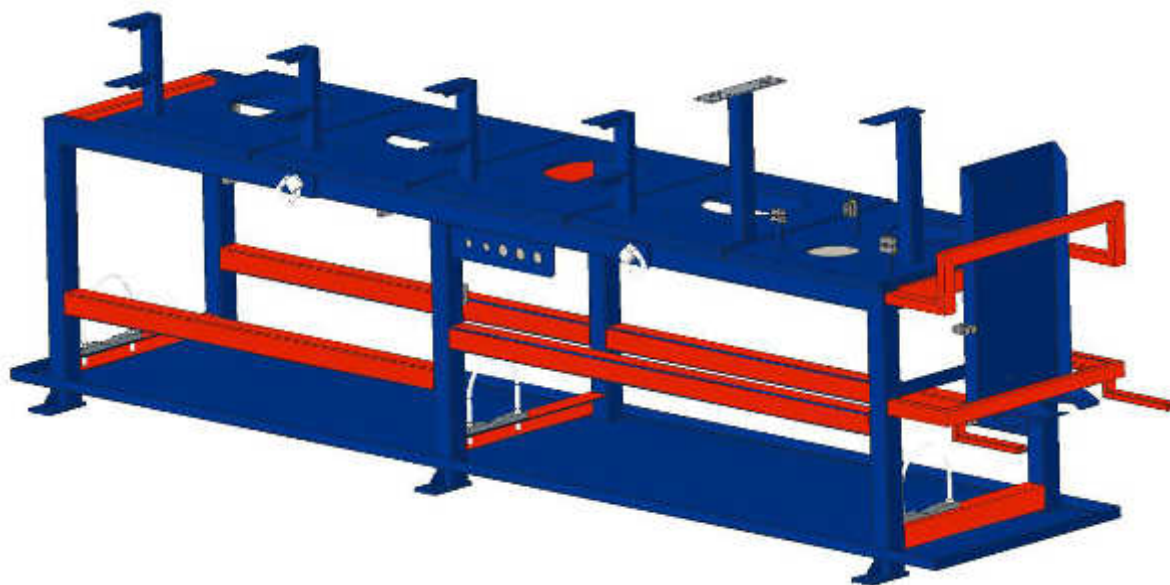
tab. 9 – Dodatečné simulované stavy

Soubor výsledků	Funkčnost vazby (noha)						Max. napětí	Příloha
[-]	[-]						[MPa]	[-]
Solution_set_03	1	0	1	1	0	1	333	P16
Solution_set_04	1	1	0	1	1	0	308	P17
Solution_set_05	0	1	1	0	1	1	197	P18
Solution_set_06	1	0	1	1	0	0	821	P19
Solution_set_07	1	0	0	1	0	1	573	P20
Solution_set_08	1	0	1	0	0	1	775	P21
Solution_set_09	0	0	1	1	0	1	541	P22
Solution_set_10	1	1	0	1	0	1	342	P23
Solution_set_11	1	0	1	1	1	0	256	P24
Solution_set_12	1	0	1	0	1	1	246	P25
Solution_set_13	0	1	1	1	0	1	329	P26

Solution_set_14	1	1	0	1	0	0	874	P27
Solution_set_15	1	0	0	1	1	0	681	P28
Solution_set_16	0	0	1	0	1	1	556	P29
Solution_set_17	0	1	1	0	0	1	670	P30
Solution_set_18	1	0	1	0	1	0	260	P31
Solution_set_19	0	1	0	1	0	1	333	P32

7.2.4 MOŽNOSTI OPTIMALIZACE

Vzhledem k požadavkům zákazníka, montáže a možnosti servisu není možné měnit zavedenou konstrukci. Proto cílem optimalizace rámu pohonné jednotky je snížení hmotnosti při změně rozměrů některých profilů a změně některých profilů za levnější alternativu při zachování hmotnosti. Vzhledem na nízké napětí, které vzniká ve vedlejších podélných nosnících při manipulaci, která nastává pouze minimálně během životnosti pohonné jednotky, je možné zmenšit jejich velikost. Napětí v hlavních i vedlejších příčných nosnících je rovněž nízké, proto také dojde k jejich náhradě za rozměrově menší. Rovněž došlo k nahrazení U-profilů na konzole pro elektroinstalaci L-profilů, cílem této úpravy je spíše zjednodušení svařovacího procesu a využití levnějších alternativy, nežli samotné odlehčení konstrukce. Poslední úpravou byla unifikace tloušťek stěn všech použitých L-profilů. Znázornění lokací změn lze vidět na obr. 21.



obr. 21 – předběžný návrh optimalizace rámu pohonné jednotky

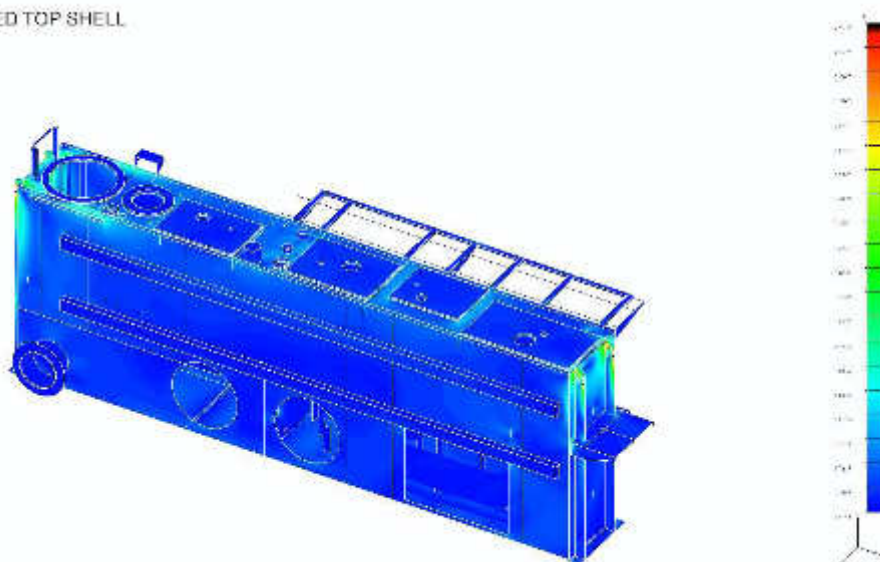
7.3 VÝSLEDKY PEVNOSTNÍ ANALÝZY NÁDRŽE

Tato kapitola se zabývá výsledky MKP analýzy nádrže, zjištěnými napětími, extrémy, způsobenými deformacemi a jejich vzájemným ovlivněním konstrukce jako takové. Z těchto závěrů je pak vyvozen návrh optimalizace.

7.3.1 MANIPULACE POUZE S NÁDRŽÍ

Na obrázku obr. 22 je nádrž v zátěžném stavu manipulace. Během tohoto stavu, jak bylo řečeno v kapitole 5.2.119, je nádrž zatížena pouze vlastní tíhou. Během procesu manipulace v nádrži vzniká napětí především v oblasti zvedacích ok, ve spojení konzol pro elektroinstalaci se stěnou nádrže, bočních stěn v oblasti zvedacích ok a víku při výrazné změně tuhosti. Jasnou ukázkou posledního zmíněného je výrazné napětí v oblasti umístění difuzoru, kde je víko silně zpevněno deskou tloušťky a zároveň na přední stěně je navařena plochá tyč pro upevnění senzorů tlaku. Při tomto zátěžném stavu je hodnota maximálního napětí 83MPa, které se lokalizuje v závěsných okách. Může se jednat o zvýšenou hodnotu vlivem nedostatečně jemné sítě v daném místě nebo vlivem náhrady zavěšení. Hodnota napětí v žebrech, trubkách nebo upevnění trubek je při manipulaci velmi nízká a nepřekračuje hodnotu přibližně 15MPa. Veškerá napětí jsou nižší nežli dovolené napětí. Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P33; P34; P35; P36; P37; P38.

ANALYZA_ZVEDANI
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 8.11E-8Pa
MAX: 8.30E+7Pa



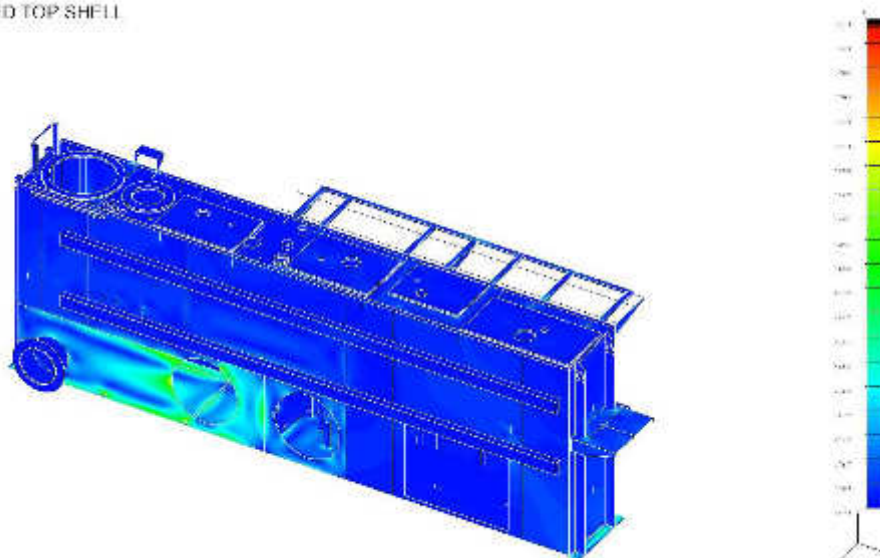
obr. 22 – nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa

7.3.2 PRACOVNÍ POLOHA

Na obr. 23 je vidět nádrž v pracovní poloze. Nejvýraznější vliv na napětí v nádrži má hydrostatický tlak oleje v nádrži a silová náhrada tohoto tlaku v místě vík. Dalším výrazně ovlivněným místem jsou boční stěny nádrže, konkrétně v místech, kde je nádrž upevněna k rámu nádrže. Protože celá nádrž, včetně veškerých prvků leží pouze na těchto dvou plochách, dochází zde ke zvýšenému napětí. Konzoly pro umístění elektroinstalace rovněž působí ve stěně nádrže vyšší napětí a mají tendenci se vytrhnout, napětí způsobené tímto zatížením je přibližně 75MPa. Posledním místem výrazně většího napětí v porovnání se zbytkem nádrže je konzola pro upevnění trubek. Největší napětí tímto způsobené je v oblasti levého žebra konzoly. Během tohoto zatěžovacího stavu je maximální hodnota napětí 188MPa. Jedná se o napěťovou špičku v místě, kde se napojuje žebro dna nádrže se stěnou nádrže. Zvýšená hodnota je částečně způsobena náhradou svaru. Skutečné napětí v daném místě je výrazně nižší. Poslední silně ovlivněnou oblastí je horní hrana zmíněného žebra. Vlivem působení hydrostatického tlaku na dno nádrže, má dno snahu se vyboulit, čemuž brání

zmíněná žebra, toto je důvod vzniku vysokého napětí ve středu horní hrany těchto žeber. Hodnota napětí zde je přibližně 115MPa a tedy se jedná o hodnotu pod dovolenou hodnotou napětí.

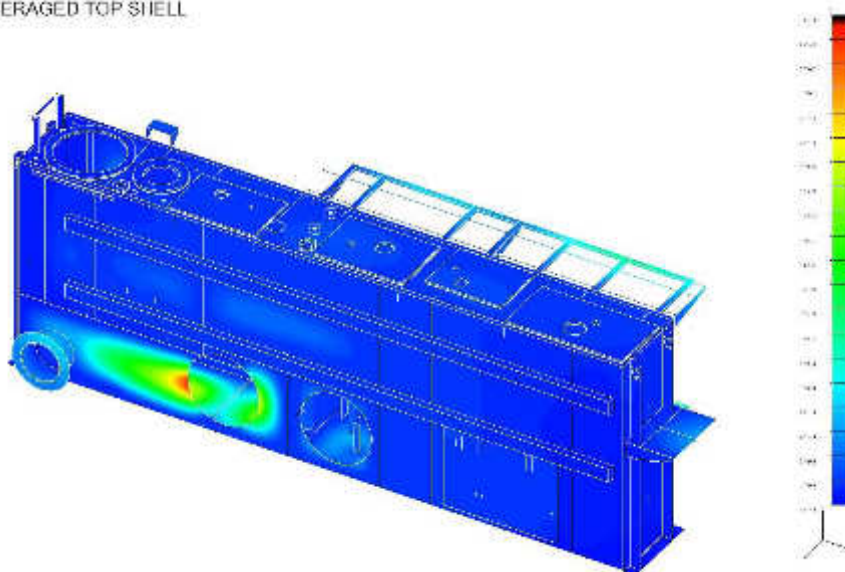
ANALYZA PRACOVNÍ POLOHY
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 3.14E+2Pa
MAX: 1.88E+8Pa



obr. 23 – nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

Na obr. 24 je zobrazena deformace nádrže při pracovním zatěžovacím stavu. Výrazný rozdíl mezi deformací konzol pro elektroinstalaci je vliv žebra na jednu z konzol. Ze stejného důvodu dochází k vyšší deformaci v levé části konzoly pro trubky. Avšak nejdůležitější na deformaci je vliv hydrostatického tlaku oleje. Na zadní stěně se jedná přibližně o 1,75mm ve středu oblasti stěny nádrže ohraničené vodorovnou přepážkou a prvním svislým žebrem, které je podél celé stěny nádrže. Největší deformace (2,91mm) vzniká v místě vík. Je to silně ovlivněno způsobem náhrady vík v kapitole 6.2.2, ve které je odůvodněno, proč nelze zanedbat vliv hydrostatického tlaku oleje na víka, ale je učiněno zjednodušení ve formě silové náhrady, která zanedbává zvýšení tuhosti vlivem vík. Z tohoto odůvodnění je patrné, že skutečná deformace v místě bude nižší, nežli hodnota získaná simulací.

ANALÝZA PRACOVNÍ POLOHA
DISPLACEMENT MAGNITUDE UN-AVERAGED TOP SHELL
MIN: 3.48E-7M
MAX: 2.91E-3M

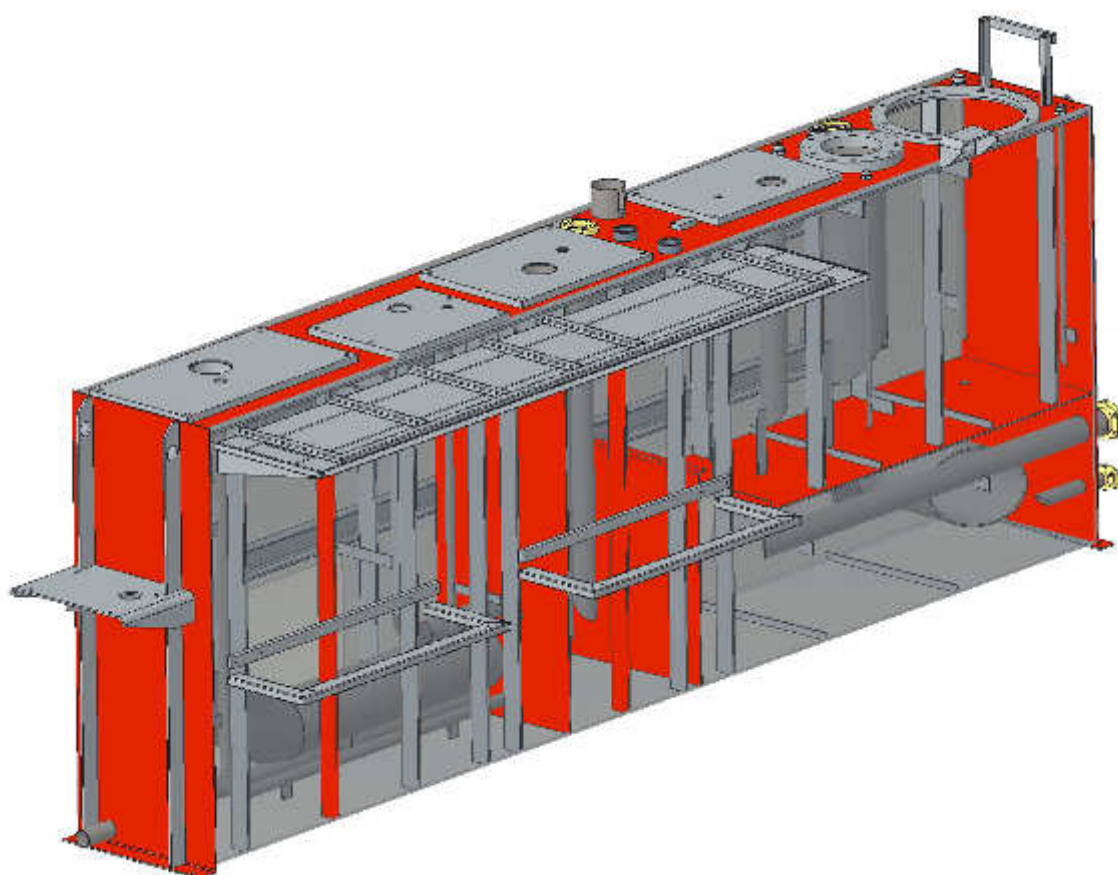


obr. 24 – nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm.

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P39; P40; P41; P42; P43; P44; P45; P46; P47; P48; P49; P50; P51; P52.

7.3.3 MOŽNOSTI OPTIMALIZACE

Z požadavků zákazníka a složitosti samotné konstrukce je návrh optimalizace zaměřen pouze na změnu tloušťek či rozměrů současných částí konstrukce. Z výsledků analýzy je patrné, že ve velké části nádrže (velká část přední a zadní stěny, část dna) vznikají pouze malá napětí, ale protože se jedná o jeden velký ohýbaný plech, který je v jiných částech nádrže zatěžován výrazně, není možné změnit jeho tloušťku z důvodu odlehčení konstrukce. Varianta rozdělení nádrže s cílem vytvoření stěn dvou rozdílných tloušťek je naprosto nepřijatelná. Tloušťka desek umístěných na víku nádrže se měnit nedá z důvodu, minimální tloušťky pro zašroubování spojovacích prvků. Další možností optimalizace je zmenšení U profilů umístěných na přední stěně nádrže, bohužel se však jedná o konstrukční požadavek zákazníka a tedy zmenšení či náhrada není možná. Z těchto důvodů je pro optimalizaci volena pouze změna tloušťky plechu víka, všech tří přepážek a bočních stěn, odstranění dvou vnitřních žeber a změny upevnění nádrže k rámu nádrže. Oproti předchozí konstrukci dojde k podepření nádrže seříznutou plochou tyčí v místě přepážky, jež rozděluje nádrž na část s olejem a bez oleje. Aby nedošlo vlivem tohoto uložení k zanesení dodatečných výrazných napětí do konstrukce vlivem nepřesnosti výroby, plochá tyč je ke konstrukci rámu přivařena až při montáži a s nádrží je pouze v kontaktu. Náznak lokalit změn je na obr. 25.



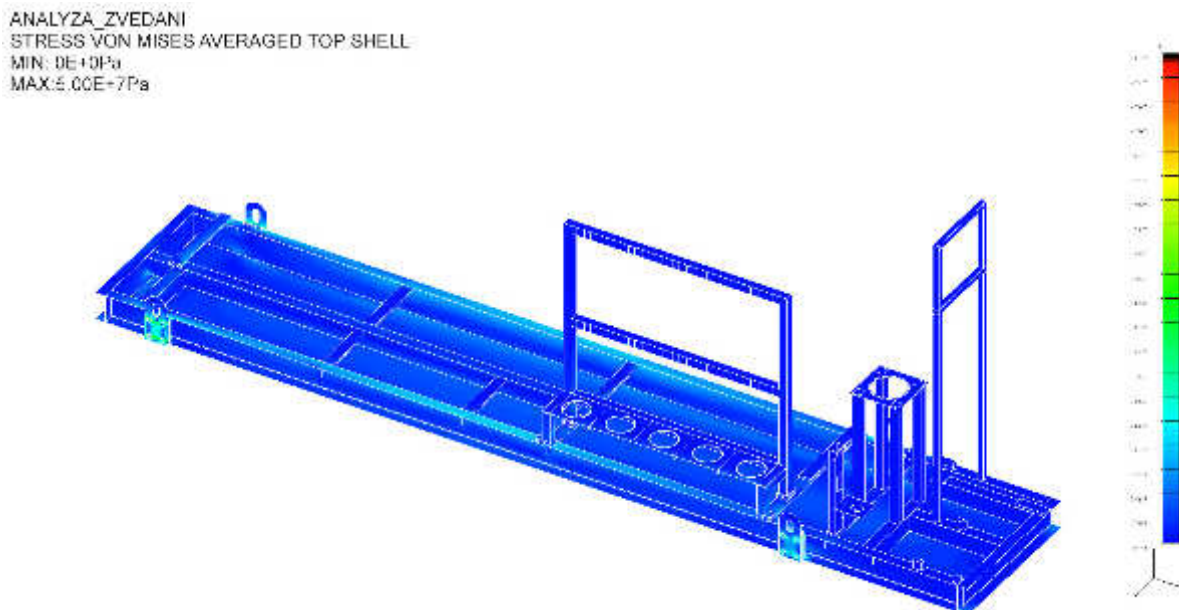
obr. 25 – předběžný návrh optimalizace nádrže

7.4 VÝSLEDKY PEVNOSTNÍ ANALÝZY RÁMU NÁDRŽE

Tato kapitola se zabývá výsledky MKP analýzy rámu nádrže, zjištěnými napětími, extrémy, způsobenými deformacemi a jejich vzájemným ovlivněním konstrukce jako takové. Z těchto závěrů je pak vyvozen návrh optimalizace.

7.4.1 MANIPULACE POUZE S RÁMEM

Na obr. 26 je rám nádrže v zátěžném stavu manipulace pouze s rámem. Během této operace dochází k prohnutí rámu a vytvoření napětí především v hlavních podélných nosnících. Největší napětí vznikající v konstrukci je napětí v závěsných okách a deskách, do kterých jsou přišroubována. To je způsobeno silou předpětí šroubů a působením tíhy rámu. Maximální napětí v konstrukci je 50MPa, které se nachází právě ve zmíněném závěsném oku.



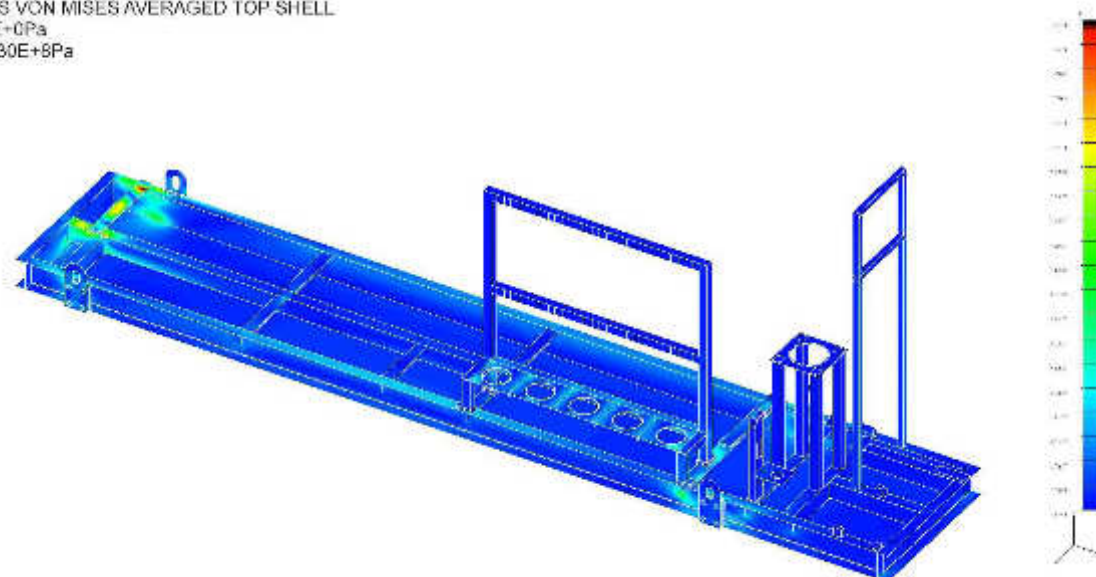
obr. 26 – rám nádrže – manipulace pouze s rámem; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 50MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P53; P54; P55.

7.4.2 MANIPULACE

Na obr. 27 je zobrazen rám nádrže při manipulaci (všechny prvky). Při tomto zátěžném stavu opět vzniká napětí při průhybu hlavních podélných nosníků. Největší napětíové koncentrace však způsobuje vliv uložení nádrže na rámu. Jak bylo již zmíněno, nádrž je upevněna pouze na dvou plochých tyčích. Proto vzniká v místě, kde se setkává hlavní podélný nosník a plochá tyč k výrazné špičce napětí (530MPa). Částečně se jedná o chybu danou náhradou v daném místě. V modelu je spojení ploché tyče a nosníku řešeno pomocí vytvoření svarových ploch, které spojují střednici ploché tyče se střednicí nosníku, avšak reálně je mezi plochou tyčí a nosníkem kontakt, který přenáší zatížení od nádrže a prvků celou plochou a svary zajišťují pouze nerozebíratelné spojení. Pokud tedy zanedbáme napětí ve svarové ploše Maximální napětí při tomto zátěžném stavu je 165MPa. Pořád se však jedná o napětí v koncentrátoru napětí. Hodnota napětí v blízkém okolí je přibližně 125MPa a tedy hodnota pod hodnotou povoleného napětí.

ANALYZA MANIPULACE
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 0E+0Pa
MAX: 5.30E+8Pa



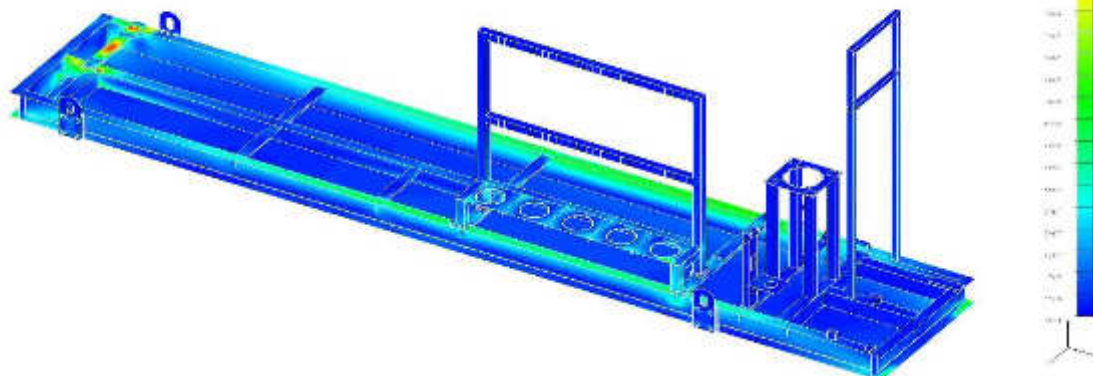
obr. 27 – rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 530MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P56; P57; P58; P59; P60; P61.

7.4.3 MONTÁŽNÍ POLOHA U ZÁKAZNÍKA

Na obr. 28 je rám nádrže v montážní poloze. Tato poloha byla specifikována v kapitole 5.3.2. Při tomto zatěžovacím stavu dochází k výraznější deformaci při průhybu hlavních podélných nosníků. Tato deformace je 7,14mm v maximu. V reálu k takové deformaci nedojde, protože rám, je před podlitím betonem na několika místech vypodložen, ale z hlediska výpočtu bylo nutné tuto neurčitou vazbu zanedbat a uvažovat nejhorší stav. Při tomto stavu opět dochází ke špičce napětí (616MPa) v místě styk ploché tyče, svarové plochy a hlavního podélného nosníku. Pokud učiníme stejná vyhodnocovací zjednodušení jako v předchozím zatěžovacím stavu maximální hodnota napětí je 167MPa. Tentokrát se jedná o místo setkání dvou střednicových ploch, konkrétně horní střednicové plochy jednoho z příčných L-profilů a horní střednicové plochy vedlejšího podélného nosníku, také L-profil. V okolí koncentrátoru se hodnota napětí pohybuje přibližně 90MPa.

ANALYZA_POLOZENO
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 0E+0Pa
MAX: 6.16E+8Pa



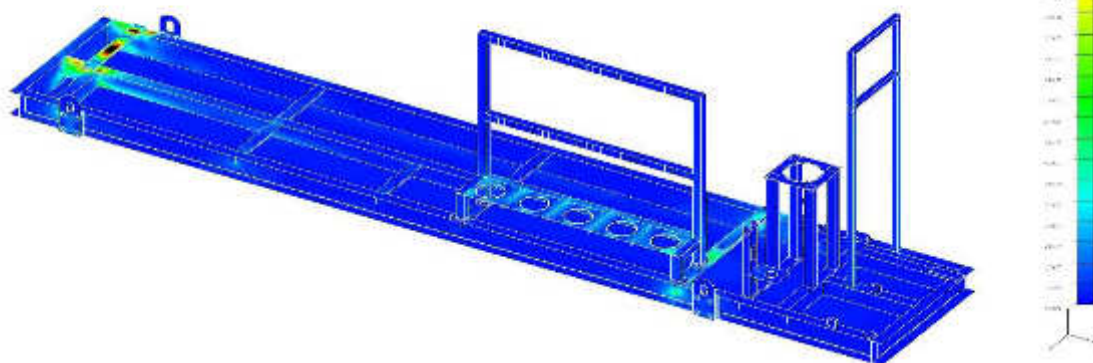
obr. 28 – rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 616MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P62;P63;P64;P65;P66.

7.4.4 PRACOVNÍ POLOHA

Na obr. 29 je rám nádrže v pracovní poloze. Stejně jako ve dvou předchozích zatěžovacích stavech, i zde vzniká extrémní napětí (665MPa) v místě svarového spojení ploché tyče a hlavního podélného nosníku. Po odebrání svarové plochy z výsledků, je maximální hodnota napětí 183MPa jako v předchozím případě v místě, kde se potkávají střednice příčného a podélného L-profilu. Větší hodnoty napětí dosahuje také na příčném L-profilu, na kterém je umístěna jedna část konzoly dusíkových lahví (akumulátorové lahve) a zároveň druhé úložné místo nádrže.

ANALYZA_PRACOVNI_POLOHA
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 0E+0Pa
MAX: 6.65E+8Pa

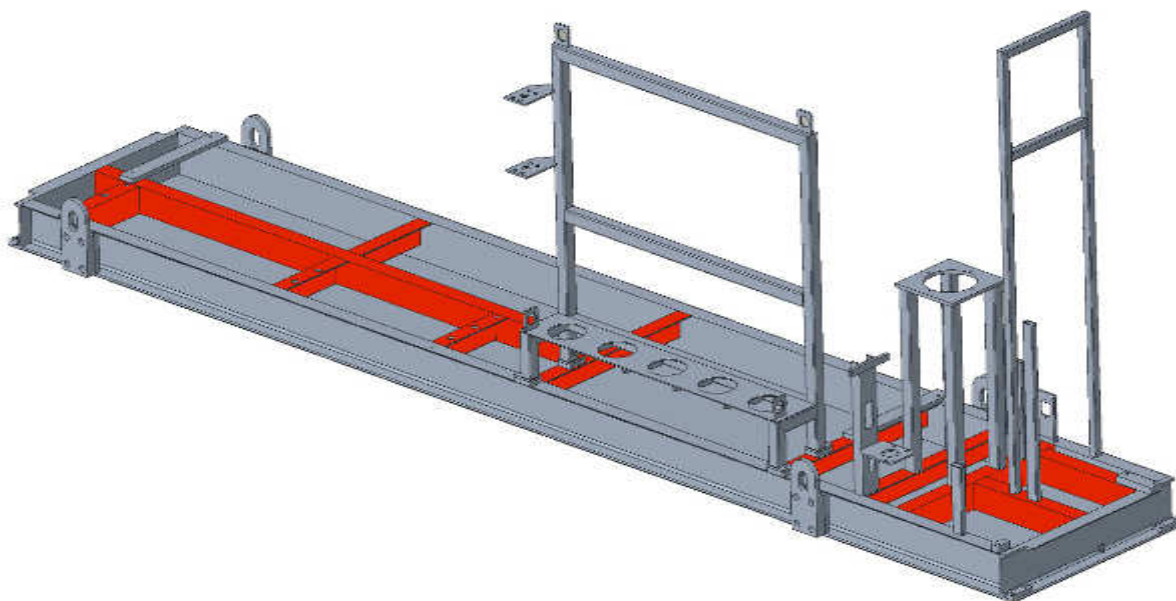


obr. 29 – rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 665MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P67; P68; P69; P70; P71; P72.

7.4.5 NÁVRH OPTIMALIZACE

S ohledem na návaznost konstrukce na konstrukci nádrže nedochází k zásadním změnám. Z výsledků analýzy stávajícího řešení je patrné, že veškeré vnitřní příčné i podélné profily v pravé části rámu (část s chladičem) jsou výrazně předimenzovány. Z konstrukčního hlediska je tak kvůli použití jednoho druhu/rozměru profilů na vyztužení rámu a možnost upevnění prvků. Zároveň je patrné, že přestože se jedná o chybu metody náhrady, vzniká v místě uchycení nádrže s prvky výrazné napětí. Z těchto důvodů je v návrhu optimalizace zmenšen rozměr všech vnitřních podélných i příčných nosníků, a zároveň je odstraněn příčný nosník, který v předchozím návrhu neplnil žádnou funkci. Tato operace je částečně řešena v kapitole 7.3.3 a bude místo něj umístěna plochá tyč sloužící k rovnoměrnějšímu rozložení zatížení od nádrže. Náznak lokalit změn je na obr. 30.



obr. 30 – předběžný návrh optimalizace rámu nádrže

8 VÝSLEDKY OPTIMALIZACE

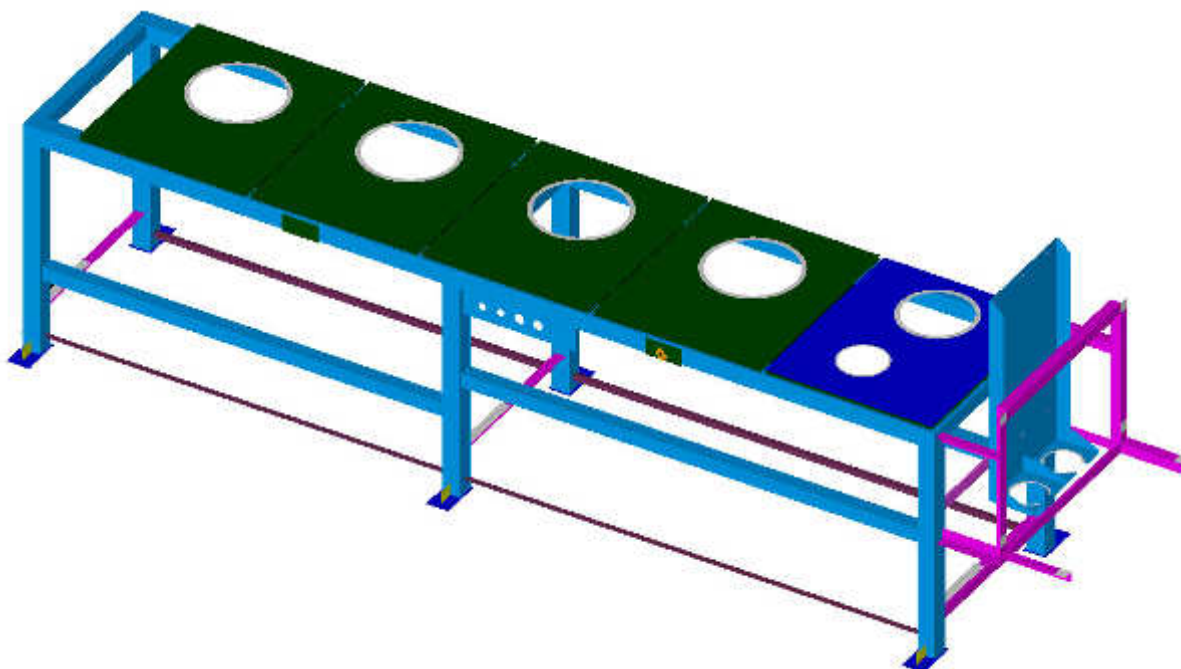
Tato kapitola se zabývá modely použitými pro pevnostní analýzu optimalizovaných konstrukcí, zátěžné stavy, pro které jsou kontrolovány, výsledky pevnostních analýz. Poté je řešeno porovnání původních hmotností konstrukcí s hmotnostmi optimalizovaných konstrukcí. V této kapitole jsou rovněž uvedeny informace týkající se výkresové dokumentace optimalizovaných řešení.

8.1 PEVNOSTNÍ ANALÝZA OPTIMALIZOVANÝCH KONSTRUKCÍ

Pevnostní analýzy optimalizovaných konstrukcí založených na základě výsledků analýz původních řešení, jsou tvořeny s cílem mít FEM modely vytvořené identickým způsobem, jak jen je to možné s cílem dosažení výsledků stejnou cestou, aby bylo možné co nejpřesnější porovnání změn v konstrukci.

8.1.1 PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU POHONNÉ JEDNOTKY

Pevnostní analýza rámu pohonné jednotky byla opět provedena pro tři zátěžné stavy. Konkrétně stav manipulace pouze s rámem, manipulace s rámem a všemi prvky a pracovní poloha. Během manipulace pouze s rámem na něj působí pouze gravitační zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Při manipulaci se všemi prvky je dodatečně zatížen tíhou prvků umístěných na konstrukci. Při zátěžném stavu pracovní poloha je rám umístěn na dokonale rovné podlaze a všech 6 nohách. Zatížen je tíhovým zrychlením $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a tíhou prvků na něm umístěných. Všechny tyto zátěžné stavy byly řešeny v kapitolách. FEM model optimalizovaného rámu pohonné jednotky je vyobrazen na obr. 31.



obr. 31 – FEM model optimalizovaného rámu pohonné jednotky

Jak bylo uvedeno částečně v kapitole 7.2.4, došlo ke změně hlavních příčných nosníků ze čtvercových jeklů 100x100x5 na 80x80x5, vedlejších příčných nosníků z L-profilu 100x100x10 na 60x60x6, vedlejších podélných nosníků ze čtvercových profilů 100x100x5 na

80x80x5, a konzola pro elektrozařízení, původně tvořená z tyčí průřezu U65. Ty byly v nové konstrukci nahrazeny tyčemi L průřezu rozměru 60x60x6.

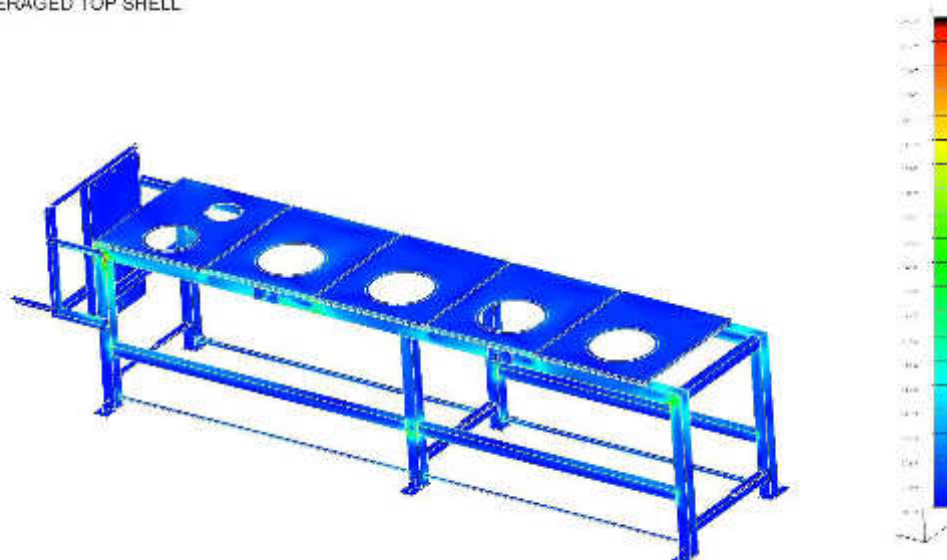
8.1.2 VÝSLEDKY ANALÝZY

V této kapitole jsou uvedeny výsledky pro jednotlivé výpočtové vztahy, rozdíly v napětí v místech výrazné koncentrace na původní konstrukci a novém návrhu konstrukce.

MANIPULACE POUZE S RÁMEM

Na obr. 32 je vidět optimalizovaný rám při manipulaci. Při tomto zatěžovacím stavu dochází ke zvýšenému napětí v místech spojení hlavních podélných nosníků a nohou rámu. Další místa zvýšeného napětí ve srovnání se zbytkem rámu jsou spoje vedlejších podélných nosníků a nohou rámu. Zde dochází ke koncentraci v místě setkání střednicových ploch. Maximální napětí při tomto zátěžném stavu je 45MPa. Veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost.

ANALYZA_ZVEDANI
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN:3.70E-6Pa
MAX:4.54E-7Pa



obr. 32 – optimalizovaný rám pohonné jednotky – zvedání; nedeformovaný model, HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 45MPa

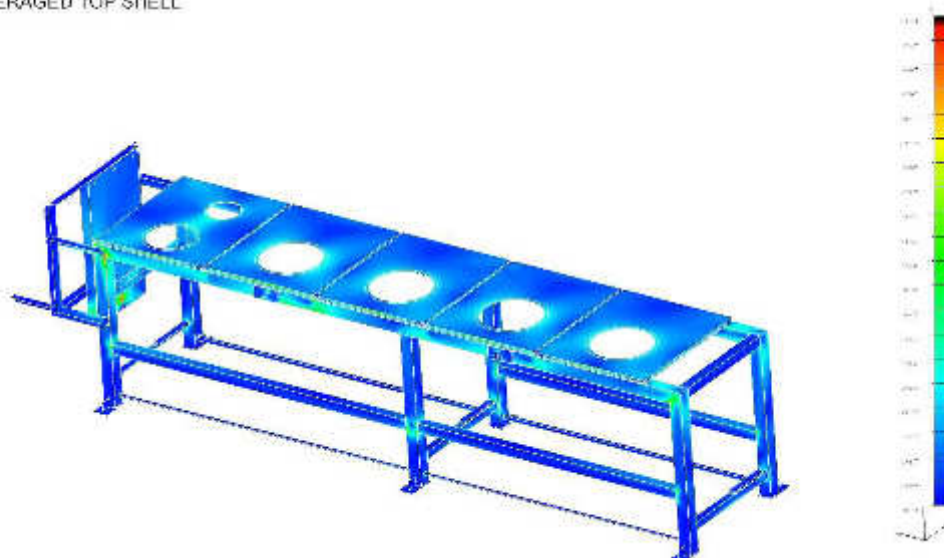
Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P73; P74.

MANIPULACE S RÁMEM A PRVKY

Na obr. 33 je vidět konstrukce při zátěžném stavu manipulace s rámem a prvky. Opět zvýšená napětí vznikají v místech spojení střednicových ploch hlavních a vedlejších podélných nosníků s nohami rámu. Při tomto stavu rovněž vzniká výrazné napětí v konzole na akumulátorové lahve. Hodnota napětí se pohybuje přibližně do 50MPa s výjimkou lokality maximálního napětí v modelu, které se nachází ve spojení střednicových ploch ohýbaného plechu, který tvoří konzolu pro akumulátorové lahve, L-profilu, ke kterému je konzola přivařena, a žebra, které je umístěno v konzole. V oblasti, kde dochází ke spojení těchto ploch, vzniká extrémní hodnota napětí 110MPa. V místech, kde se nachází upevnění konzoly pro elektroinstalaci, došlo k mírnému nárůstu napětí na maximální hodnotu 55MPa, protože došlo ke zmenšení stykové plochy v porovnání s původním návrhem. Maximální hodnota

napětí při tomto zátěžném stavu je 170MPa. Opět veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost

ANALYZA MANIPULACE
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN:1.89E+5Pa
MAX:1.70E+8Pa

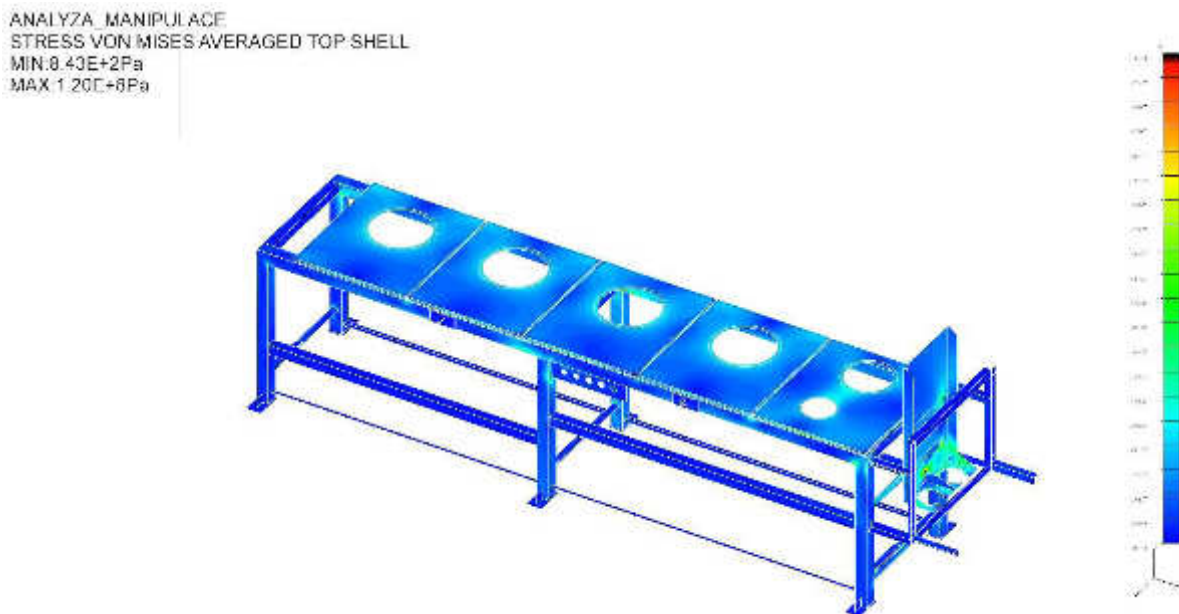


obr. 33 – optimalizovaný rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 170MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P75; P76.

PRACOVNÍ POLOHA

Na obr. 34 je vidět konstrukce při zátěžném stavu pracovní poloha. Při tomto zátěžném stavu vzniká v rámu poměrně nízké napětí v porovnání s předchozím stavem. Opět se jedná o místa zmínění v předchozích dvou odstavcích. V samotném rámu se hodnota napětí pohybuje přibližně do hodnoty 60MPa, převážně v okolí spojů nosníků. Nejvyšší hodnota napětí, nyní 120MPa, se opět vyskytuje na konzole pro akumulátorové lahve v místě spojení střednicových ploch žebra, svaru a samotné konzoly. Tato konzola není v porovnání se zbytkem rámu výrazněji zatížena a výrazně vyšší napětí v porovnání s prvotním modelem je vytvořením dodatečného svaru. V původním modelu byl svar umístěn pouze z horní strany L-profilu, nyní byl vytvořen z obou stran a vznikl tím koncentrátor napětí. Hodnota napětí v blízkém okolí je přibližně do 75MPa, když nebereme v potaz zmíněné extrémní místo. Opět veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost.



obr. 34 – optimalizovaný rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 120MPa

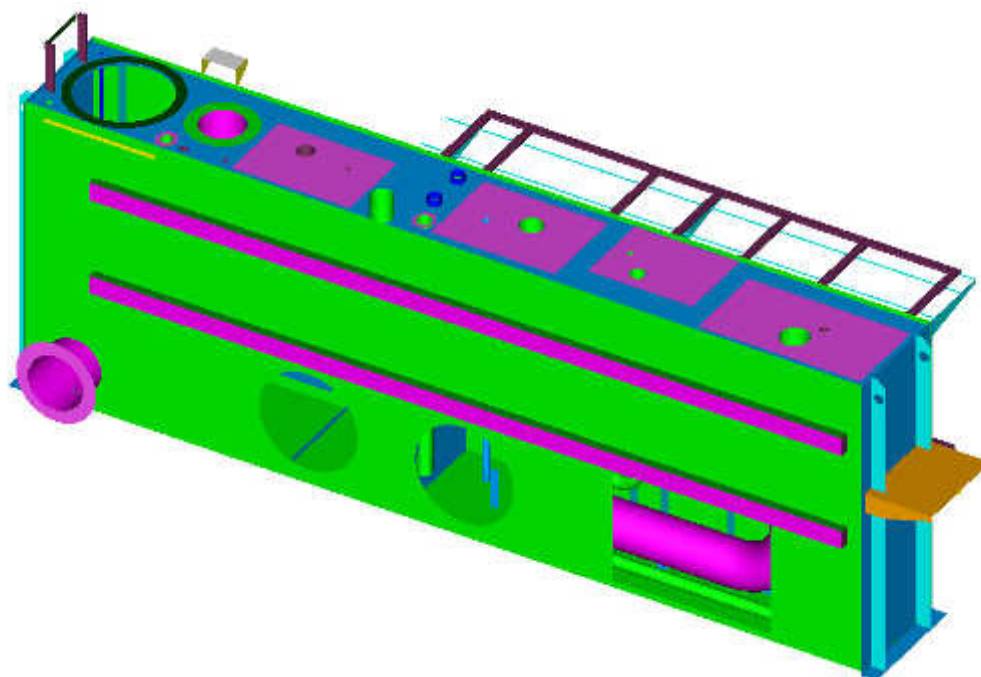
Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P77; P78.

ZHODNOCENÍ OPTIMALIZACE

Provedené změny na konstrukci vyhovují pevnostní analýze. Hlavní i vedlejší příčné nosníky jsou i přesto naddimenzované, rovněž konzola pro elektroinstalaci, ale s ohledem na použití co nejmenšího počtu různých velikostí polotovarů již nebude jejich velikost měněna.

8.1.3 PEVNOSTNÍ ANALÝZA NÁDRŽE

Pevnostní analýza nádrže byla opět provedena pro dva zátěžné stavy definované v kapitole 5.2.1 a 5.2.2. Pro tyto stavy byla provedena analýza nové konstrukce. V nové konstrukci došlo pouze ke změnám rozměrů některých prvků. Tyto návrhy byly částečně zmíněny v kapitole 7.3.3. Konkrétně došlo ke změně tloušťky plechu víka z 10mm na 5mm. Také došlo ke změně tloušťky bočních stěn nádrže, a všech přepážek umístěných v nádrži. Ve všech těchto změnách se jednalo o změnu z tloušťky 6mm na 5mm. Tato změna se neprojeví výrazně na rozdílu v hmotnosti, ale slouží spíše k unifikaci použitých plechů na konstrukci nádrže. FEM model optimalizované nádrže je vidět na obr. 35.



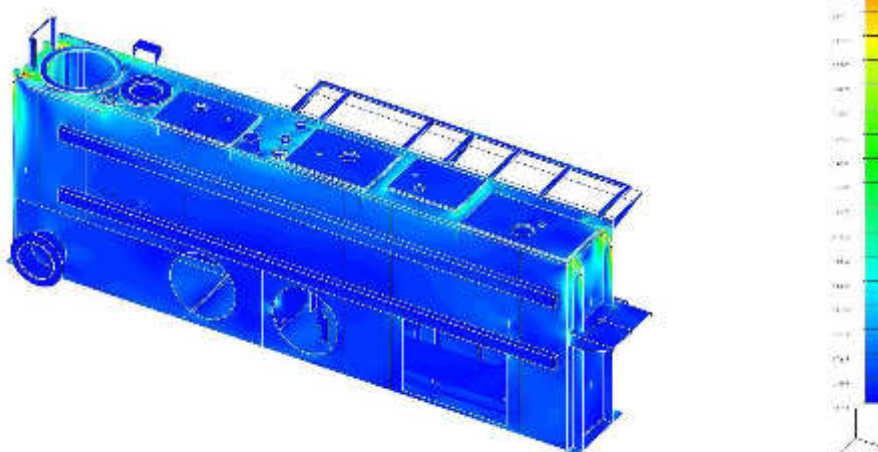
obr. 35 – FEM model optimalizované nádrže

8.1.4 VÝSLEDKY ANALÝZY

V této kapitole jsou uvedeny výsledky pro jednotlivé výpočtové vztahy, rozdíly v napětí v místech výrazné koncentrace na původní konstrukci a novém návrhu konstrukce.

MANIPULACE S NÁDRŽÍ

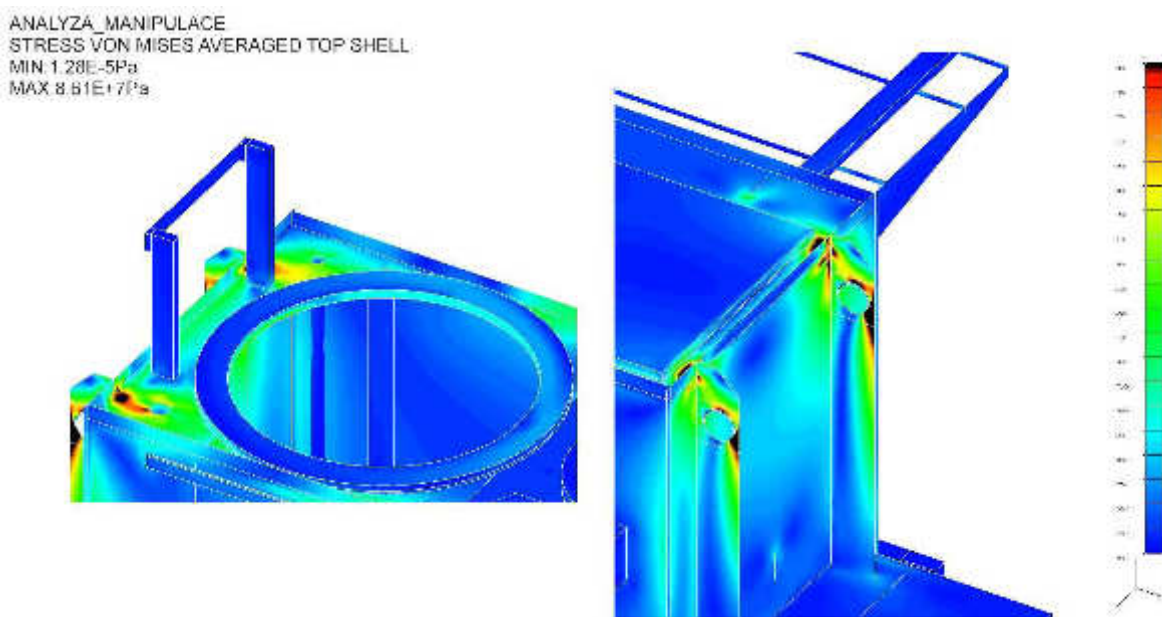
ANALYZA_MANIPULACE
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN:1.28E-5Pa
MAX:8.61E+7Pa



obr. 36 – optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa

Na obr. 36 je vidět nádrž při zátěžném stavu manipulace. Maximální hodnota napětí je 86MPa. Zvýšené hodnoty napětí vznikají v závěsných okách, kde je to způsobené jednak

přenášeným zatížením, ale zároveň provedenou náhradou zavěšení. Další výrazné místo je na obr. 37, kde je vidět zvýšené napětí na víku, které je vytvořeno působením jednoho ze závěsných okem, jehož střednice se spojuje s boční stěnou nádrže. Zde dochází k velkému napětí, které se dále šíří po víku do blízkého slabého místa na víku nádrže, otvoru, který slouží pro upevnění trubky. Vzhledem k nutnosti umístění závěsného oka není možno jej posunout. Hodnota napětí v tomto místě není kritická. Mírně vyšší napětí vzniká v oblasti umístění desky pro blok 5. Tato lokace je velmi blízko závěsným okům a zároveň se jedná o výraznou lokální změnu tuhosti. Způsobem vzniku podobné napětí vzniká i na opačné straně nádrže v oblasti desky pro blok 1. Maximální hodnota napětí v žebrech, výztuhách a upevněních trubek je 24MPa. Veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost.



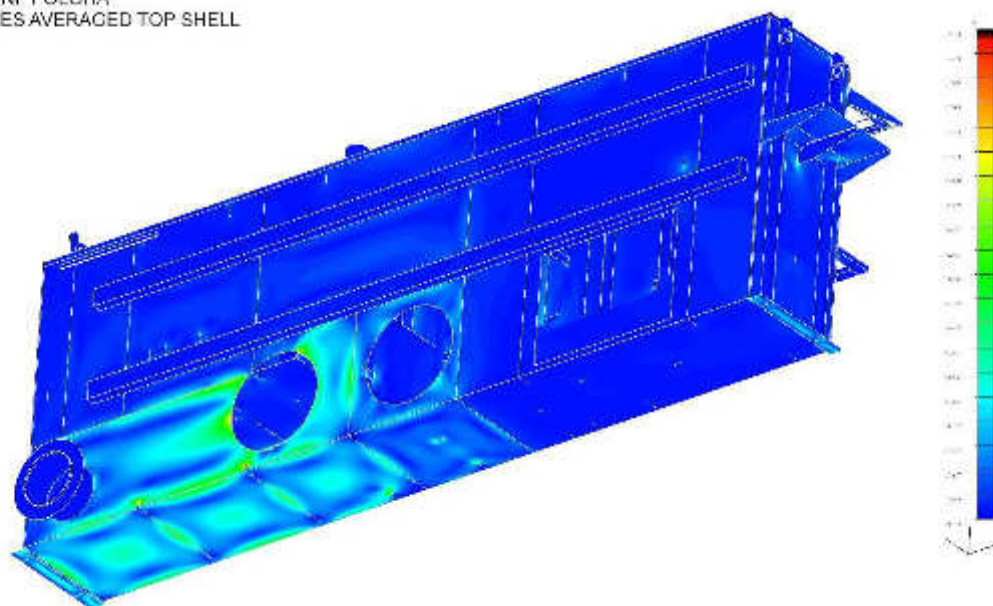
obr. 37 – optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P79; P80; P81.

PRACOVNÍ POLOHA

Na obr. 38 je vidět nádrž při provozním stavu. Maximální hodnota napětí je 196MPa. Tato hodnota je nad povolenou hodnotou, ale jedná se chybu ve vytvořeném modelu. Zmíněné místo je spojení střednice svaru mezi vnitřní přepážkou a stěnou, kde působením náhrady hydrostatického tlaku na víka vzniká extrémní napětí v tomto koncentrátoru. Na skutečné konstrukci zde svarové spojení není a stěna je zpevněna tuhostí víka. Další koncentrace napětí vzniká ve spojení žebek se stěnami a dnem nádrže, hodnota napětí v koncentrátoru je 160MPa. Pro optimalizované řešení nádrže a rámu nádrže bylo zvoleno dodatečné podepření dna nádrže v místě přepážky, a bylo kontrolováno, zda nedojde k zanesení výrazných dodatečných napětí. Maximální hodnota napětí na přepážce je 51MPa.

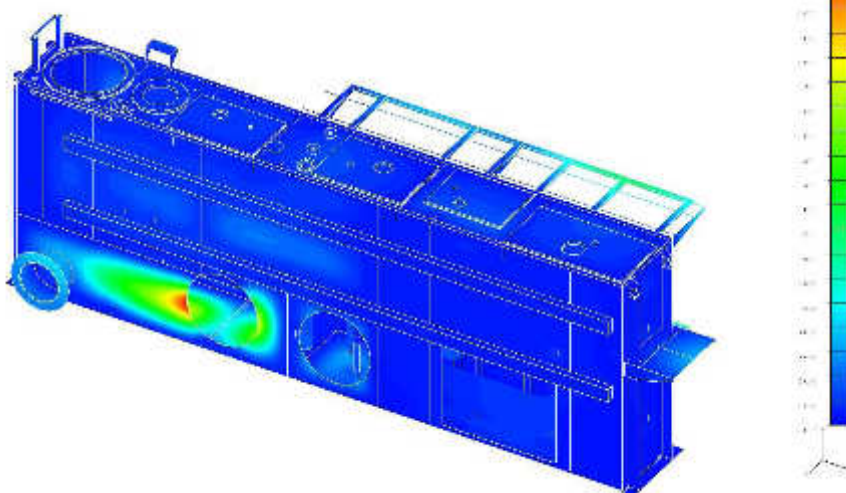
ANALYZA PRACOVNI POLOHA
STRESS VON MISSES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 3.37E+2Pa
MAX: 1.96E+8Pa



obr. 38 – optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa

Na obr. 39 je znázorněna deformace optimalizované nádrže při pracovním zatížení. Hodnota maximální deformace je téměř stejná jako u původní konstrukce, tedy v tomto případě 2,96mm v místě náhrady působení hydrostatického tlaku na víka nádrže. Reálná deformace bude nižší kvůli provedené náhradě na modelu, což bylo vysvětleno v kapitole 6.2.2. Veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost, mimo odůvodněná místa. Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P82; P83; P84; P85.

ANALYZA PRACOVNI POLOHA
DISPLACEMENT MAGNITUDE UNAYEREGED TOP SHELL
MIN: 3.47E-7M
MAX: 2.96E-3M



obr. 39 – optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,96mm

ZHODNOCENÍ OPTIMALIZACE

Provedené změny na konstrukci vyhovují pevnostní analýze. V konstrukci provedenými změnami nedošlo k výrazným změnám napětí. Deformace na bočních stěnách se zvýšila pouze o nepatrnou hodnotu. Odebráním dvou žeber oproti původní konstrukci nezpůsobilo žádné výrazné změny v napětí ani deformaci.

8.1.5 PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU NÁDRŽE

Pevnostní analýza rámu nádrže byla provedena pouze pro dva zátěžné stavy. Konkrétně se jedná o stav manipulace s rámem a všemi prvky, na něm umístěnými, a pracovní stav.

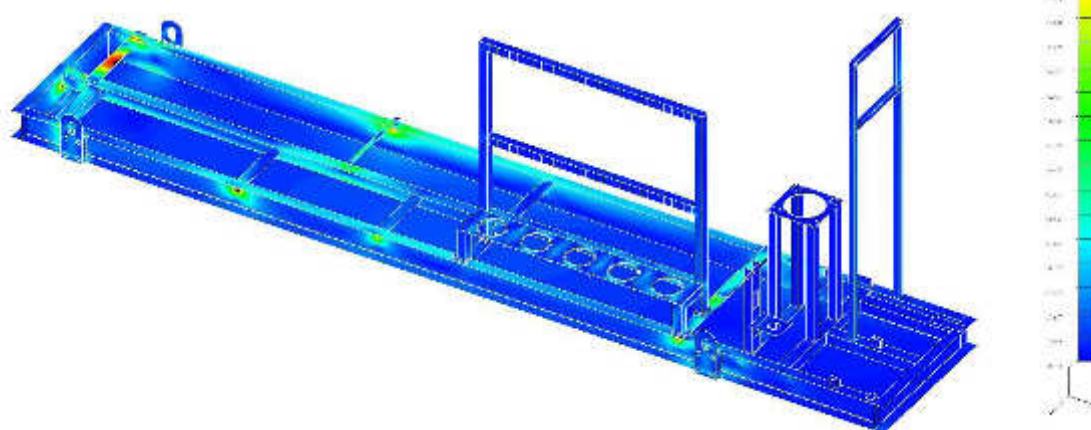
8.1.6 VÝSLEDKY ANALÝZY

V této kapitole jsou uvedeny výsledky pro jednotlivé výpočtové vztahy, rozdíly v napětí v místech výrazné koncentrace na původní konstrukci a novém návrhu konstrukce.

MANIPULACE S RÁMEM A PRVKY

Na obr. 40 je vidět optimalizovaný rám nádrže při manipulaci s rámem osazeným nádrží a všemi komponenty. Jedná se o zátěžný stav nastávající pouze výjimečně a tak je na něj i při analýze nahlíženo. Stejně jako při analýze původní konstrukce opět vzniká výrazný koncentrátor v místě svarové plochy, která spojuje jeden z hlavních podélných nosníků s plochou tyčí, která slouží k uložení nádrže.

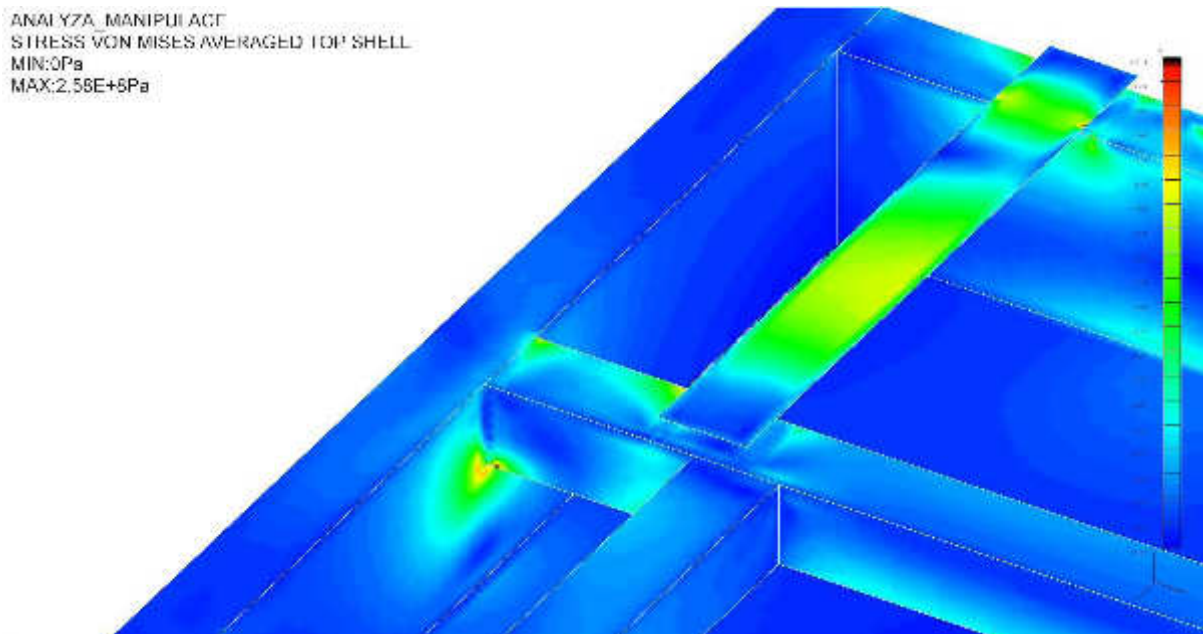
ANALÝZA MANIPULACE
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN 0Pa
MAX 2.58E+8Pa



obr. 40 – optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258

Další výrazné napětí vzniká velmi blízko spojení střednicových ploch vedlejší podélného nosníku s hlavním příčným, viz obr. 41. Jedná se o hodnotu 258MPa v koncentrátoru napětí. Přestože je hodnota vyšší nežli návrhová pevnost. Místo ve výsledku vyhovuje s odůvodněním, že se jedná o výrazný koncentrátor napětí, jehož hlavní pointa spočívá v čárovém styku střednicových ploch a v reálném případě zde mimo tloušťky stěny

profilu je vliv ještě svaru, který napomáhá rozložení napětí. Hodnota napětí v blízkém okolí se blíží hodnotě 100MPa až 150MPa, a zároveň napětí vznikající v daném místě je tlakové, tedy nehrozí, i v krajním případě pokud by vznikla plastická deformace, šíření trhlin. V místě spojení vedlejších příčných nosníků k vedlejšímu příčnému rovněž dochází k zvýšenému napětí, ale v přijatelných mezích hodnot. Veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost, mimo odůvodněná místa.



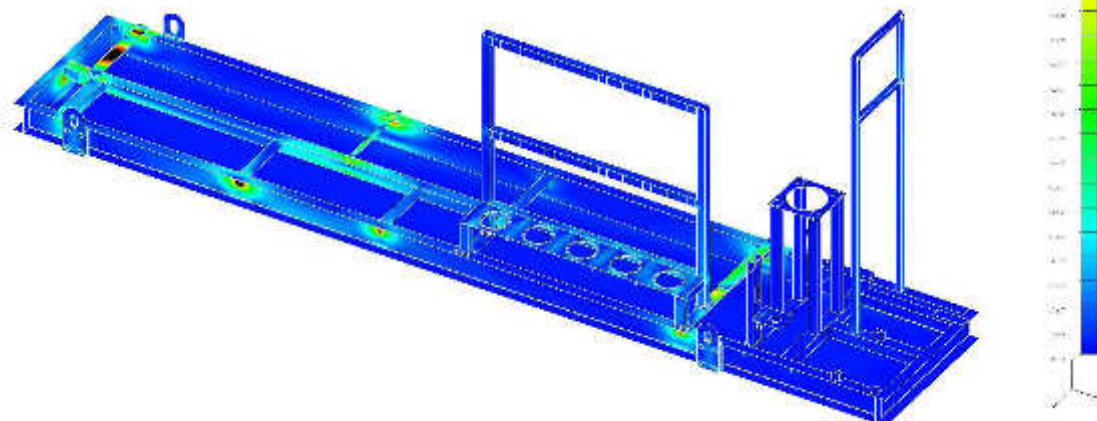
obr. 41 – optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-214MPa; max. napětí 258MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P86;P87;P88;P89;P90;P91.

PRACOVNÍ POLOHA

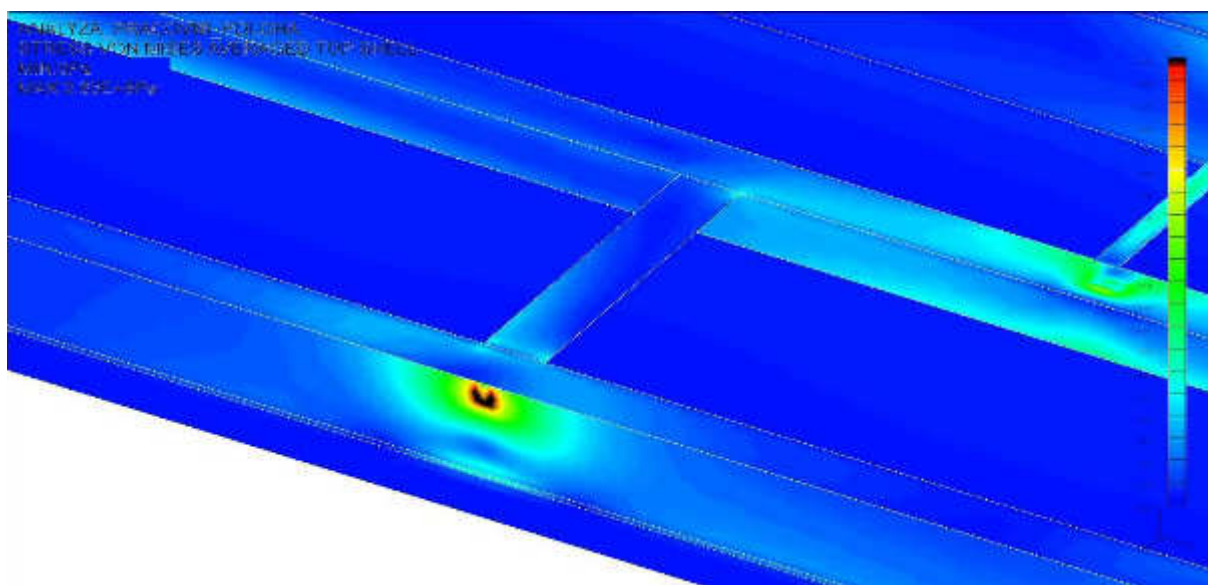
Na obr. 42 je vidět rám při zatížení vlastní tíhou, tíhou nádrže, všech prvků a oleje v nádrži. Při tomto zátěžném stavu vznikají výrazná napětí ve spojích vedlejších podélných a příčných nosníků s hlavními.

ANALYZA PRACOVNÍ POLOHA
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN 0Pa
MAX 2.83E-8Pa



obr. 42 – optimalizovaný rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 283MPa

Největší hodnota 283MPa vzniká opět v místě konce spojení dvou střednicových ploch těchto nosníků viz obr. 43. Jedná se o velmi podobný případ jako u předchozího zatěžovacího stavu. Napětí v blízkém okolí extrému se pohybuje v rozmezí 125MPa až 175MPa. Pokud vezmeme v potaz odůvodnění poskytnuté v předchozím odstavci místo je sice zatížené výrazněji, ale jedná se o identický případ, včetně vlivu svarového spoje na reálné konstrukci, je toto místo adekvátně dimenzováno. Veškerá napětí získaná analýzou jsou nižší než návrhová pevnost, mimo odůvodněná místa.



obr. 43 – optimalizovaný rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-214MPa; max. napětí 283MPa

Všechny výsledky pro tento zátěžný stav se nachází v příloze P92;P93;P94.

ZHODNOCENÍ OPTIMALIZACE

Provedené změny na konstrukci vyhovují pevnostní analýze, mimo místa, kde bylo nalezeno větší napětí, či výrazná deformace, ale pro tyto místa bylo poskytnuto adekvátní vysvětlení, proč nejsou tyto extrémní hodnoty uvažovány. Na konstrukci se pořád vyskytují předimenzované prvky, například vedlejší podélné a příčné nosníky v části konzol a chladiče, či konzola na upevnění dusíkových lahví, avšak konstrukční požadavky nebo firemní standardy dále nedovolují možnosti změn rozměrů. Je možné uvažovat využití jiný konstrukčních prvků, či konstrukčních sestav, které by mohly splňovat požadavky optimalizace více, ale tato práce by vyžadovala více soustředěný přístup zaměřený pouze na tuto konkrétní konstrukci.

8.2 ÚSPORA MATERIÁLU

V této kapitole je porovnání hmotností původních a nově navržených konstrukcí a přibližný odhad úspory. Jak bylo zmíněno ze začátku práce, hodnoty hmotností původních konstrukcí se liší od hodnot v zadání, kvůli provedeným konstrukčním změnám, proběhlých během procesu vypracovávání této diplomové práce. Hodnoty hmotností jsou odměřeny pomocí CAD systému Creo 4.0, aby porovnání bylo co nejpřesnější. Měření je provedeno se stejnými prvky umístěnými na konstrukcích, aby nedošlo ke zkreslení výsledků.

tab. 10

Konstrukce	Původní hmotnost	Hmotnost	Úspora	Procentuální úspora	Přibližná finanční úspora
[-]	[kg]	[kg]	[kg]	[%]	[Kč]
R987462831	1598	1535	63	3,94	5900
R987465188	1666	1533	132	7,92	5450
R987465202	947	896	51	5,39	11610

8.3 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Tato diplomová práce byla vypracována v kooperaci s firmou Bosch Rexroth, spol.s.r.o a výkresová dokumentace byla vytvořena dle požadavků a standardů této firmy. Proto výkresy svařenců neobsahují značení svarů, pokud se nejedná o klíčové pozice, kde je nutné upřesnění, protože konstrukce jsou svařovány dodavateli, kteří se řídí normou stanovenou firmou Bosch Rexroth, spol.s.r.o. To stejné je definované i pro geometrické tolerance, které jsou rovněž definované podnikovou normou a specifikační tabulkou umístěnou nad razítkem. Dodatečné informace jsou vždy definovány v textovém poli umístěném na prvním listu daného výkresu nebo u konkrétního prvku, kterého se textové pole týká.

ZÁVĚR

V první části této diplomové práce byla úspěšně provedena stručná rešerše zabývající se měnícím trendem v problematice kompaktních agregátů a srovnání vůči předchozím konstrukcím, přičemž bylo poukázáno na výhody a nevýhody těchto konstrukcí, jejich vliv na nutnost častějšího servisu, vyšší požadavky na hydraulický olej a vhodnost využití MKP metod pro pevnostní analýzu těchto konstrukcí.

V druhé a třetí části diplomové práce byly vysvětleny zatěžující stavy jednotlivých konstrukcí. Byly vysvětleny zjednodušení a idealizace aplikovaná na výpočtové modely. Prvky konstrukcí, které neměly výrazný vliv na tvorbu zatížení, deformace nebo tuhost konstrukcí byly vynechány za účelem zjednodušení modelů. Rovněž bylo zpracován princip pevnostní analýzy daných konstrukcí včetně objasnění pojmů, dále využívaných v práci. Tvorba MKP modelů byla založena na interní výkresové dokumentaci. Samotné modely byly v diplomové práci vysvětleny včetně schématického naznačení komponentů, které konstrukce zatěžují.

Úspěšně byla provedena pevnostní analýza všech tří konstrukcí pro dříve objasněné zatěžné stavy, včetně objasnění parametrů podle, kterých jsou konstrukce vyhodnocovány. Na základě těchto poznatků byl navržen obecný směr úprav konstrukcí. Po porovnání s požadavky zákazníků firmy Bosch Rexroth, spol.s.r.o. byly vytvořeny modely nových navržených konstrukčních sestav. Při tvorbě těchto modelů je brán ohled na použití co nejmenšího počtu různých polotovarů a využívání pouze některých (povolených) rozměrů.

Navržené optimalizované modely byly kontrolovány pevnostní analýzou. Ve vyhodnocování jednotlivých sestav je vždy uvedeny kritická místa dané konstrukce a daného zatěžovacího stavu, včetně objasnění vzniku těchto míst v modelu, jejich výskyt na skutečné konstrukci, jejich vliv na chování konstrukce, a zdali vyhovují parametrům, podle kterých konstrukce vyhodnocujeme. Pro každou konstrukční sestavu je uvedeno vyhodnocení optimalizace a následně vyhodnocení snížení hmotností konstrukcí a potencionální úspora těmito řešeními. Konkrétní hodnoty procentuálního snížení hmotnosti byly 3,94% 7,92% a 5,39% původní hmotnosti.

Poslední částí diplomové práce bylo vytvoření výkresové dokumentace pro optimalizované konstrukce, konkrétně rám pohonné jednotky, nádrž a rám nádrže. K výkresové dokumentaci bylo poskytnuto vysvětlení, podle jakých standardů byla tvořena. Tato výkresová dokumentace je uvedena v příloze diplomové práce.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Hydraulické agregáty - katalog Bosch Rexroth, spol.s.r.o. <https://www.boschrexroth.com/> [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownload-internet.dll/R999000118_AGGRE_2012_03_AE_Media.pdf?db=brmv2&lvid=1162513&mvid=13993&clid=20&sid=385989986F3865C04146AF97D0E1C86F.borex-tc&sch=M&id=13993,20,1162513
- [2] Hydraulika [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Hydraulika>
- [3] Interní dokumentace firmy Bosch Rexroth, spol.s.r.o
- [4] Finite element method. <https://www.comsol.com/> [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.comsol.com/multiphysics/finite-element-method>
- [5] UCL MECHANICAL ENGINEERING [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.meng.ucl.ac.uk/~p_jeavons/
- [6] Fea-cae-engineering.com [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://fea-cae-engineering.com/fea-cae-engineering/element_types.htm
- [7] ConVERTER. <http://www.converter.cz> [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
- [8] VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické: učební text. 1. vyd. Praha: SNTL, 1983. 671 s. ISBN.
- [9] ZN 95001: Assembly preloads and tightening torques. 2011. Bosch Rexroth.
- [10] Silové poměry na šroubu, utahovací moment. <http://domes.spssbrno.cz> [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-06.pdf
- [11] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). 2010. Konstruování strojních součástí. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUTIUM. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [12] Česká technická norma - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí ČSN EN 1993-1-1: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. 2006. Praha: Český normalizační institut.
- [13] Česká technická norma - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí ČSN EN 1993-1-3: Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro za studena tvarované prvky a plošné profily. 2008. Praha: Český normalizační institut.
- [14] Česká technická norma - Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí ČSN EN 1993-4-2: Část 4-3: Navrhování ocelových konstrukcí Část 4-3 - Nádrže. 2008. Praha: Český normalizační institut.

- [15] FERONA [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>
- [16] Pragoprojekt. Eurokódy: Seznam platných eurokódů [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.pragoprojekt.cz/public/data/file/normy/Seznam%20norem%20a%20eurokodu/EUROK%C3%93DY.pdf>
- [17] Eurokódy: Příručka pro MSP [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.sgpstandard.cz/editor/files/unmz/uvod/prirucky/eurokod/eurokod_13_03.htm?skipRedirect=1
- [18] NEPRAŤ, František. 2002. Modelování systémů s hydraulickými mechanismy. Brno: Bosch Rexroth. ISBN 80-214-2187-8.
- [19] KLEZLA, V. Rám pro stacionární hydraulické zařízení. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 51 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

d_0	[m]	Světlost potrubí na rámu pohonné jednotky
d_{30}	[m]	Střední průměr metrického závitu M30
d_v	[m]	Průměr plochy víka, na kterou působí olej
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
F_p	[N]	Vypočtená síla předpětí
F_{p1}	[N]	Předepsaná síla předpětí
F_V	[N]	Síla nahrazující hydrostatický tlak působící na víko
f_{yd1}	[MPa]	Návrhová pevnost 1
f_{yd2}	[MPa]	Návrhová pevnost 2
f_{yd3}	[MPa]	Návrhová pevnost 3
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
h	[m]	Vzdálenost středu víka od hladiny oleje
k_p	[-]	Součinitel pro lehce olejované šrouby
l_o	[m]	Délka potrubí na rámu pohonné jednotky
m_o	[kg]	Hmotnost oleje v potrubí na rámu pohonné jednotky
M_{p1}	[Nm]	Předepsaný utahovací moment
p	[Pa]	Hydrostatický tlak
R_{eS235}	[MPa]	Mez kluzu materiálu S235
S	[m ²]	Plocha víka, na kterou působí olej
t	[mm]	Tloušťka střednicové plochy
V_o	[m ³]	Objem oleje v potrubí na rámu pohonné jednotky
γ_{M1}	[-]	Součinitel spolehlivosti pro standartní použití
γ_{M2}	[-]	Součinitel spolehlivosti pro oslabené prvky
γ_{M3}	[-]	Součinitel spolehlivosti pro stěny nádrže
ε	[-]	Poissonovo číslo
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota materiálu použitého při simulacích
P_o	[kg·m ⁻³]	Hustota hydraulického oleje
σ	[MPa]	Napětí vznikající v konstrukcích

SEZNAM PŘÍLOH

P1 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace pouze s rámem; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 33,2MPa

P2 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace pouze s rámem; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 33,2MPa

P3 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa

P4 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa

P5 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky - nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa

P6 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa

P7 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa

P8 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 41,6MPa

P8 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 41,6MPa

P9 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-1,69mm; max. napětí 1,69mm

P10 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa

P11 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa

P12 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 88,9MPa

P13 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 88,9MPa

P14 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 88,9MPa

P15 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa

P16 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_03; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 333MPa

P17 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_04; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 308MPa

P18 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_05; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 197MPa

P19 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_06; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 821MPa

P20 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_07; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 573MPa

P21 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_08; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 775MPa

P22 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_09; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 541MPa

P23 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_10; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 342MPa

P24 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_11; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 256MPa

P25 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_12; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 246MPa

P26 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_13; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 329MPa

P27 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_14; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 874MPa

P28 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_15; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 681MPa

P29 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_16; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 556MPa

P30 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_17; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 670MPa

P31 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_18; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 260MPa

P32 – výsledek analýzy - Rám pohonné jednotky – Solution_set_19; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 333MPa

P33 – výsledek analýzy - Nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa

P34 – výsledek analýzy - Nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa

P35 – výsledek analýzy - Nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa

P36 – výsledek analýzy - Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 14,7MPa

P37 – výsledek analýzy - Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 14,7MPa

P38 – výsledek analýzy - Nádrž – zvedací oko – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa

P39 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm

P40 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm

P41 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm

P42 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm

P43 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm

P44 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm

P45 – výsledek analýzy - Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 156MPa

P46 – výsledek analýzy - Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 156MPa

P47 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

P48 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

P49 – výsledek analýzy - Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

P50 – výsledek analýzy - Nádrž –olejová část – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

P51 – výsledek analýzy - Nádrž – olejová část – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

P52 – výsledek analýzy - Nádrž – olejová část – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa

P53 – výsledek analýzy - Rám nádrže – zvedání; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 50MPa

P54 – výsledek analýzy - Rám nádrže – zvedací oko – zvedání; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 50MPa

P55 – výsledek analýzy - Rám nádrže – deska – zvedání; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 46,9MPa

P56 – výsledek analýzy - Rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 530MPa

P57 – výsledek analýzy - Rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 530MPa

P58 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 151MPa

P59 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 151MPa

P60 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky - detail – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 151MPa

P61 – výsledek analýzy - Rám nádrže – zvedací oko a deska – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 69,5MPa

P62 – výsledek analýzy - Rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-8mm; max. deformace 7,14mm

P63 – výsledek analýzy - Rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 616MPa

P64 – výsledek analýzy - Rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 616MPa

P65 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 167MPa

P66 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky - detail – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 167MPa

P67 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-8mm; max. deformace 5,99mm

P68 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 665MPa

P69 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 665MPa

P70 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 183MPa

P71 – výsledek analýzy - Rám nádrže – pouze nosníky - detail – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 183MPa

P72 – výsledek analýzy - Rám nádrže – akumulátorová konzola – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 114MPa

P73 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám pohonné jednotky – zvedání; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 45MPa

P74 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám pohonné jednotky – zvedání; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 45MPa

P75 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 170MPa

P76 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 170MPa

P77 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 120MPa

P78 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 120MPa

P79 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa

P80 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa

P81 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa

P82 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa

P83 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa

P84 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa

P85 – výsledek analýzy - Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,96mm

P86 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-MPa; max. napětí 258MPa

P87 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa

P88 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa

P89 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa

P90 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa

P91 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – detail – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-214MPa; max. napětí 258MPa

P92 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 283MPa

P93 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 283MPa

P94 – výsledek analýzy - Optimalizovaný rám nádrže - detail – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-214MPa; max. napětí 283MPa

R987462831, List 1 – Výkres svařence rámu pohonné jednotky

R987462831, List 2 – Výkres svařence rámu pohonné jednotky

R987462831, List 3 – Výkres svařence rámu pohonné jednotky

R987462831, List 4 – Výkres svařence rámu pohonné jednotky

R987462831, List 5 – Výkres svařence rámu pohonné jednotky

R987462831, List 6 – Výkres svařence rámu pohonné jednotky

R987765202, List 1 - Výkres svařence rámu nádrže

R987765202, List 2 - Výkres svařence rámu nádrže

R987765202, List 3 - Výkres svařence rámu nádrže

R987765202, List 4 - Výkres svařence rámu nádrže

R987465188, List 1 – Výkres svařence nádrže

R987465188, List 2 – Výkres svařence nádrže

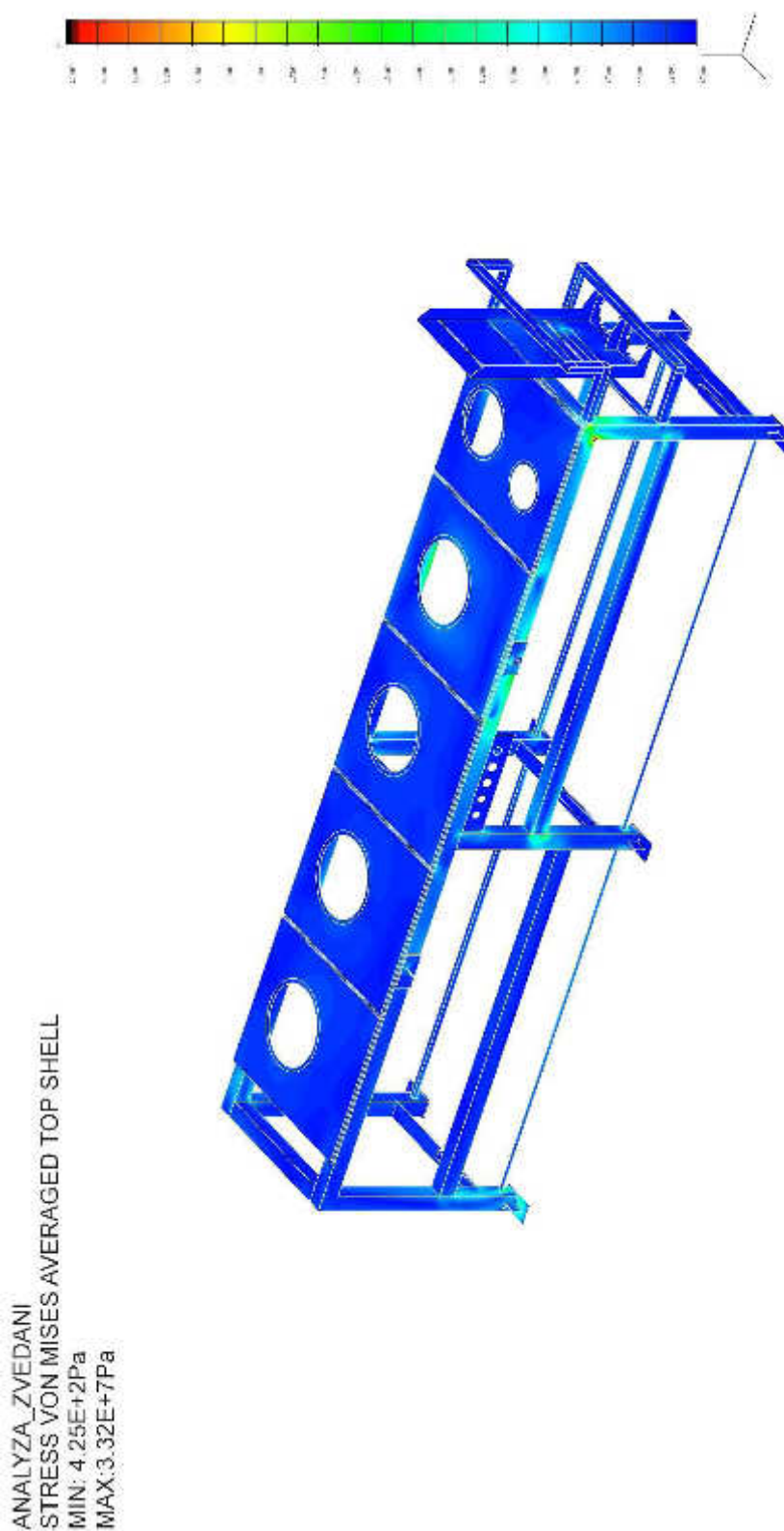
R987465188, List 3 – Výkres svařence nádrže

R987465188, List 4 – Výkres svařence nádrže

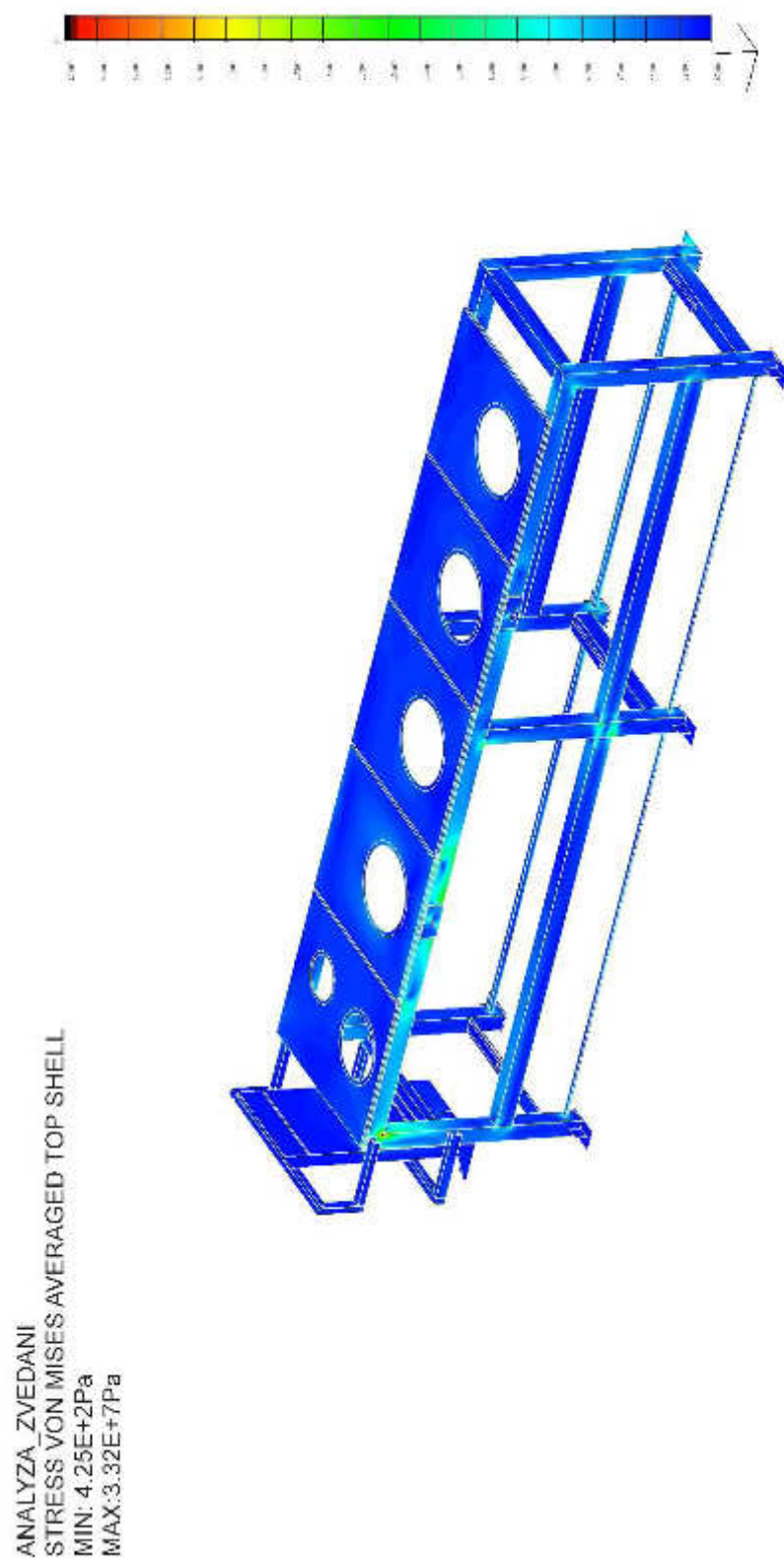
R987465188, List 5 – Výkres svařence nádrže

R987465188, List 6 – Výkres svařence nádrže

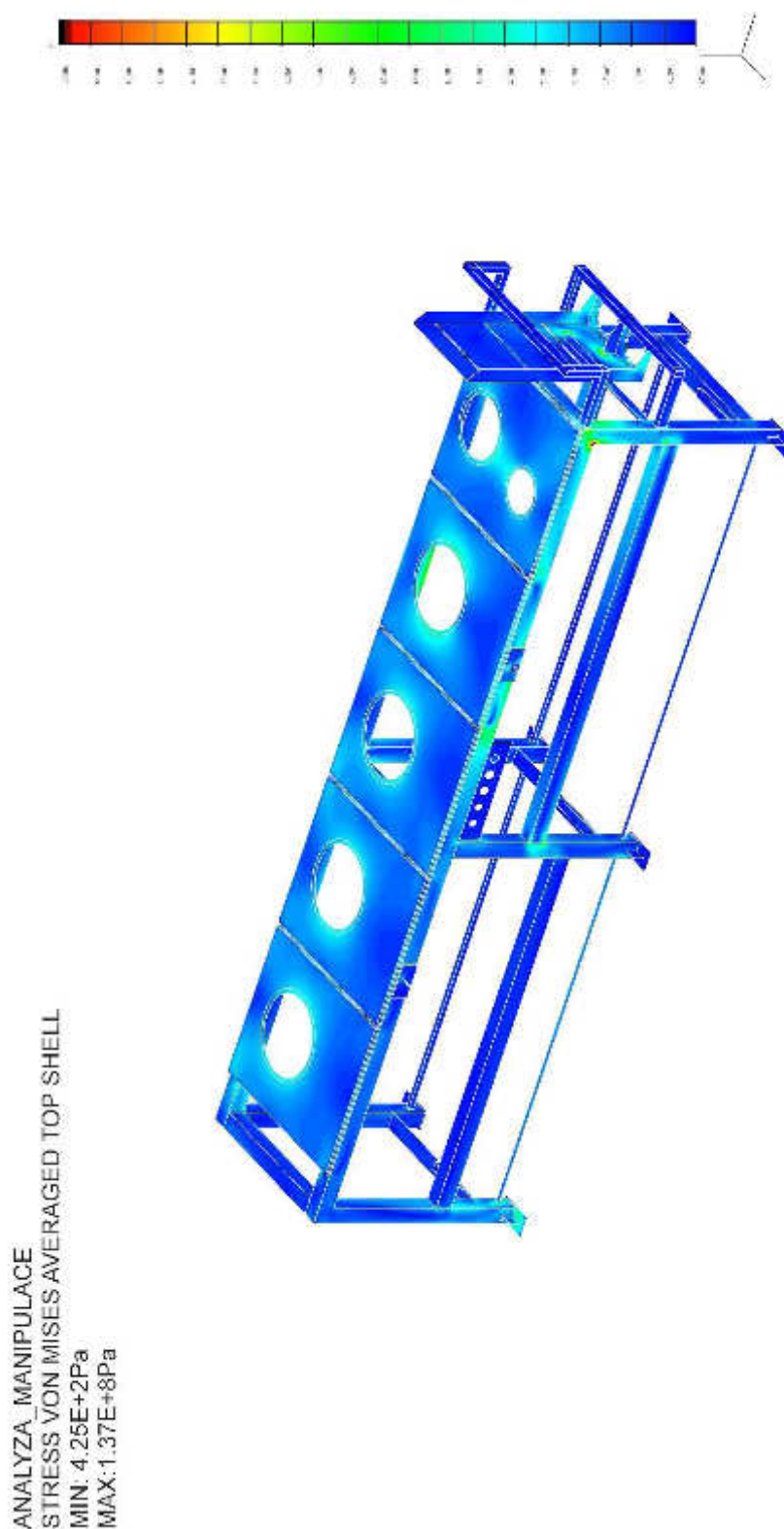
P1 Rám pohonné jednotky – manipulace pouze s rámem; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 33,2MPa



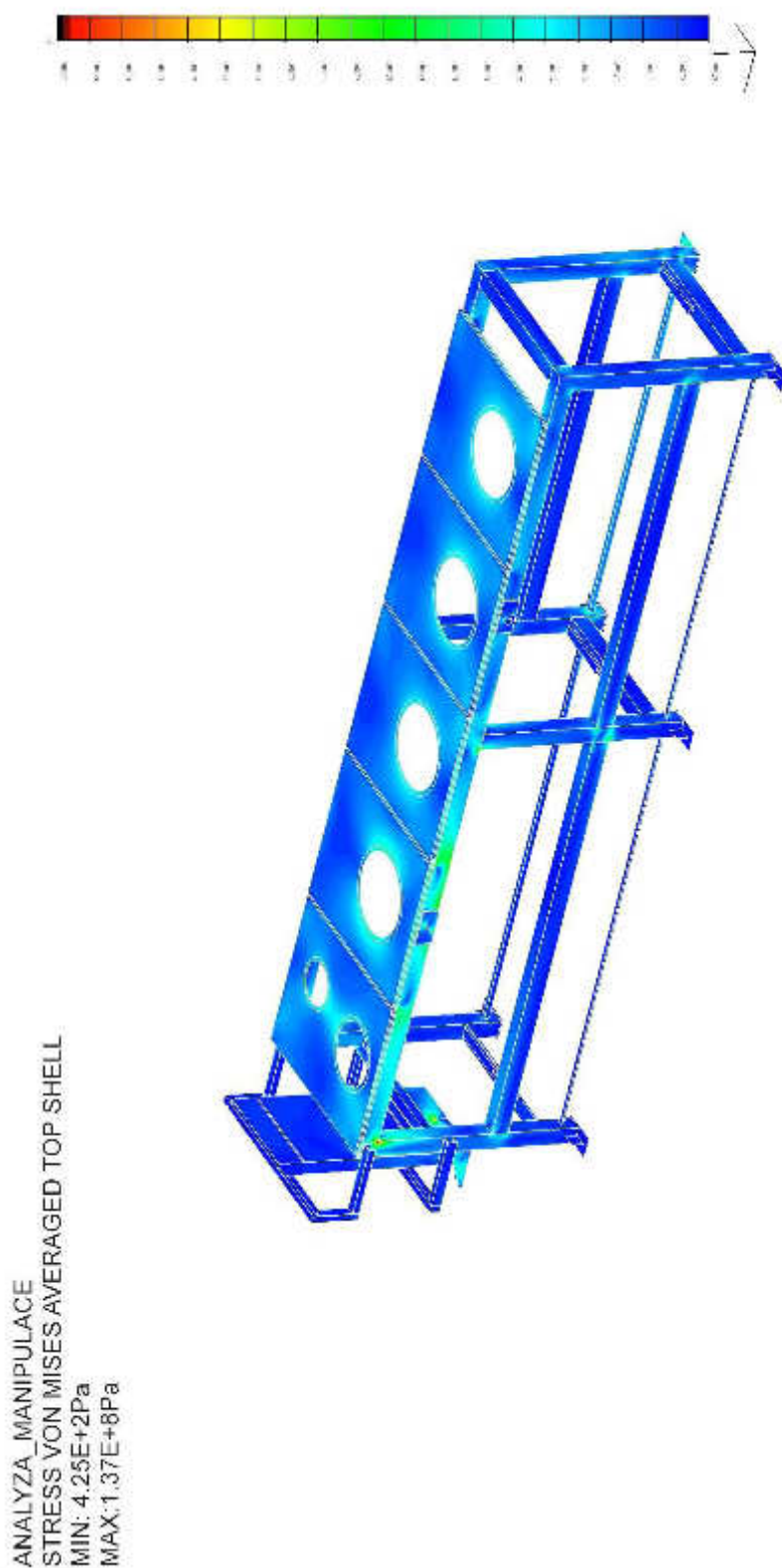
P2 Rám pohonné jednotky – manipulace pouze s rámem; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 33,2MPa



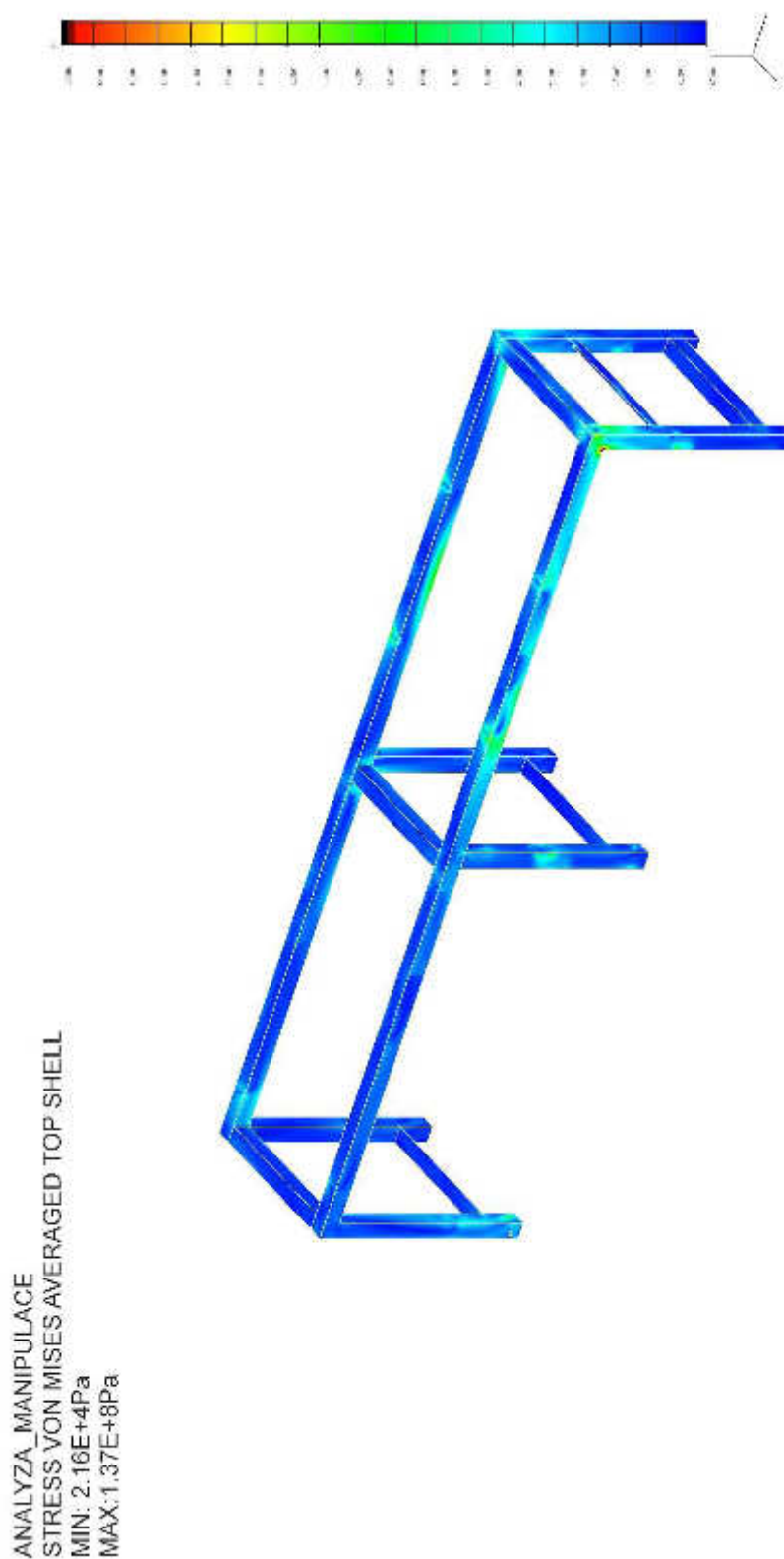
P3 Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa



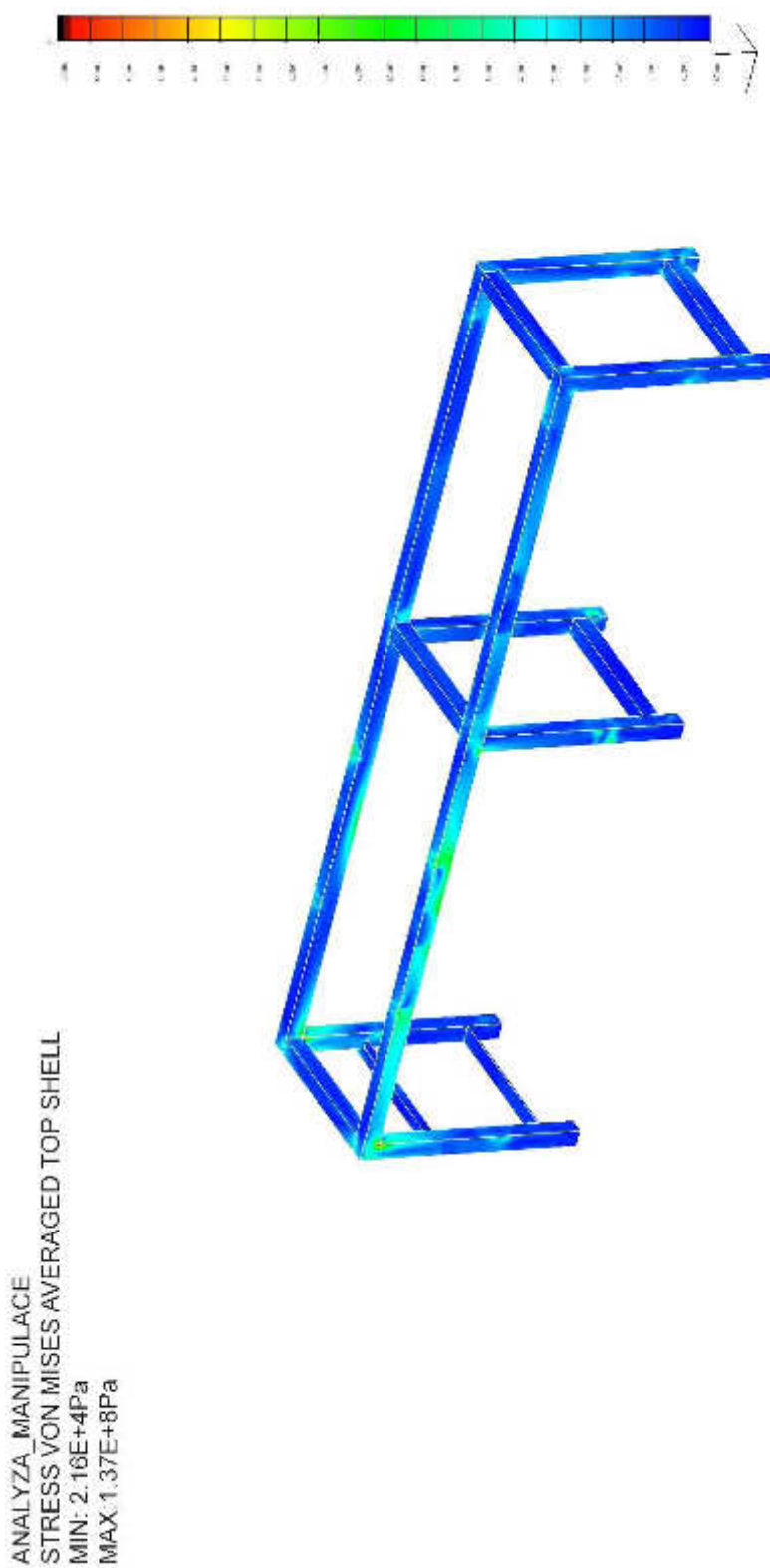
P4 Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa



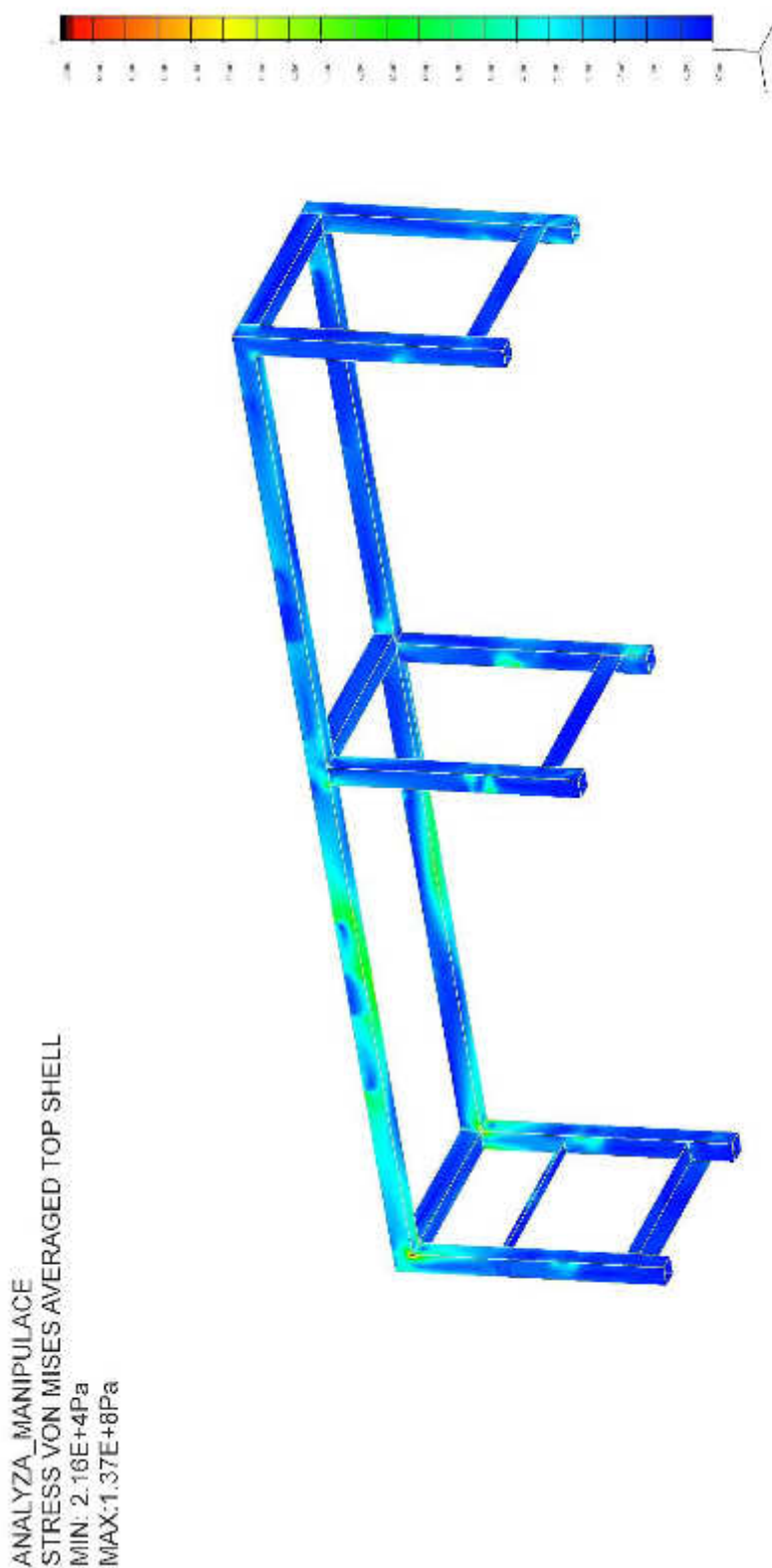
P5 Rám pohonné jednotky - nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa



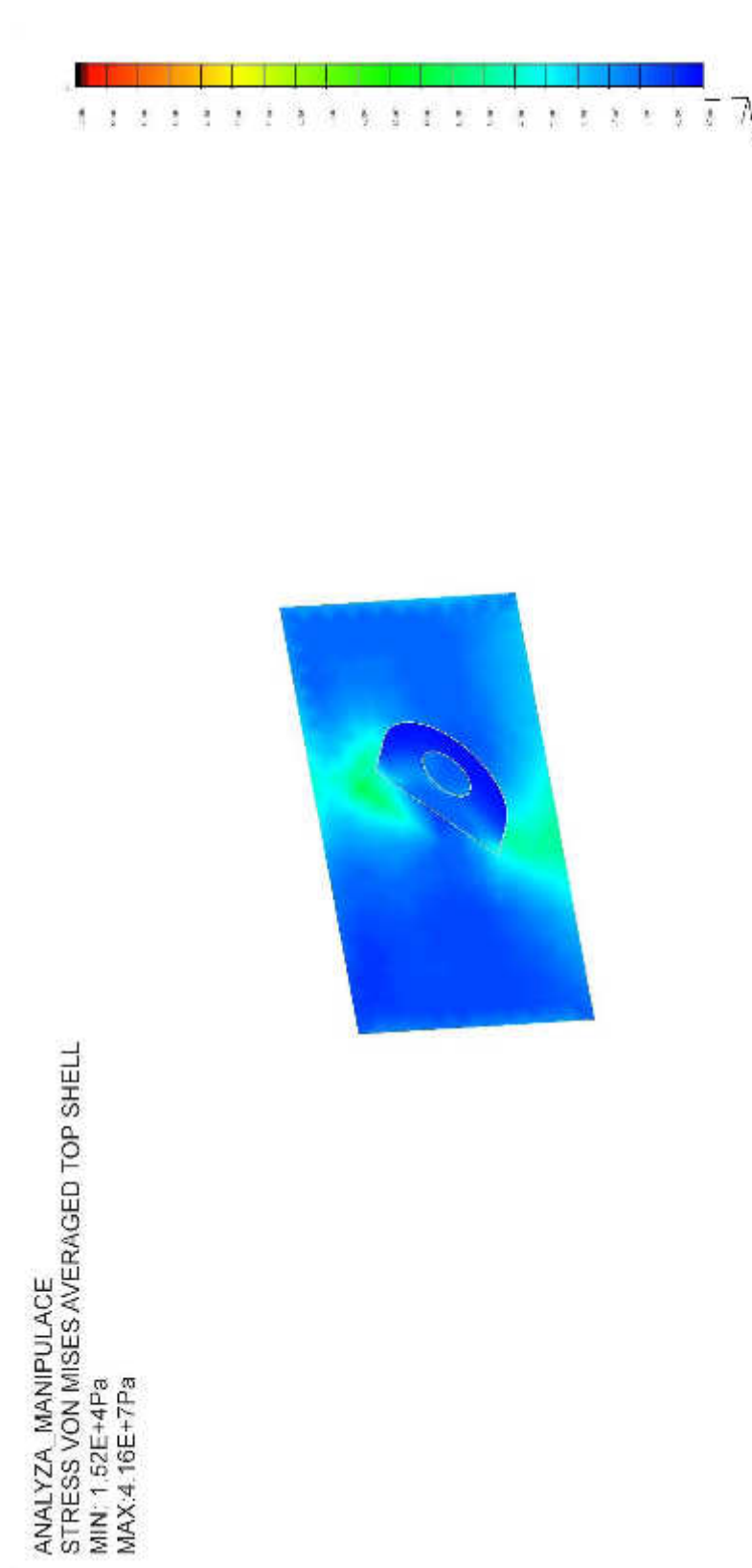
P6 Rám pohonné jednotky – nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa



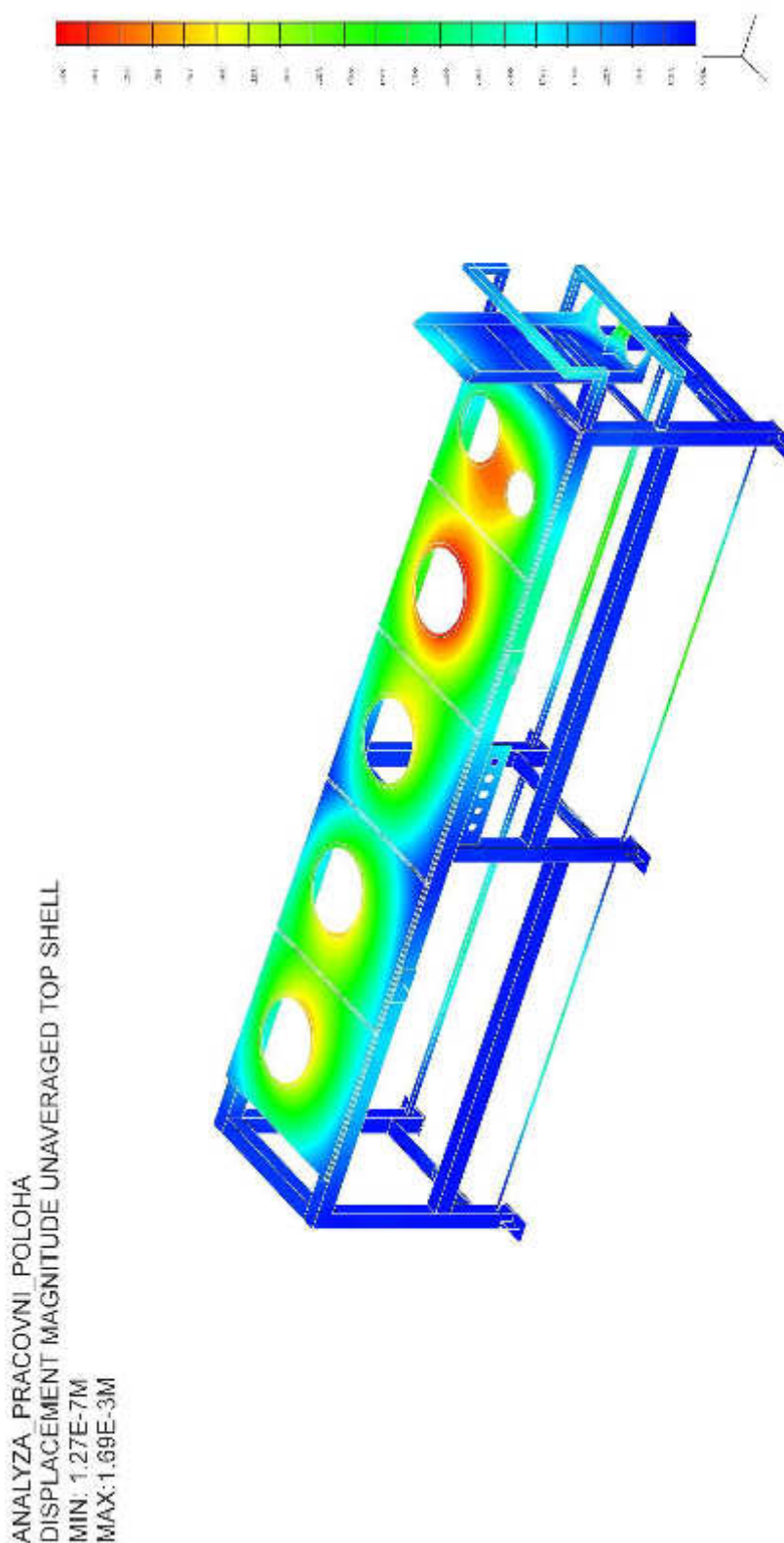
P7 Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 137MPa



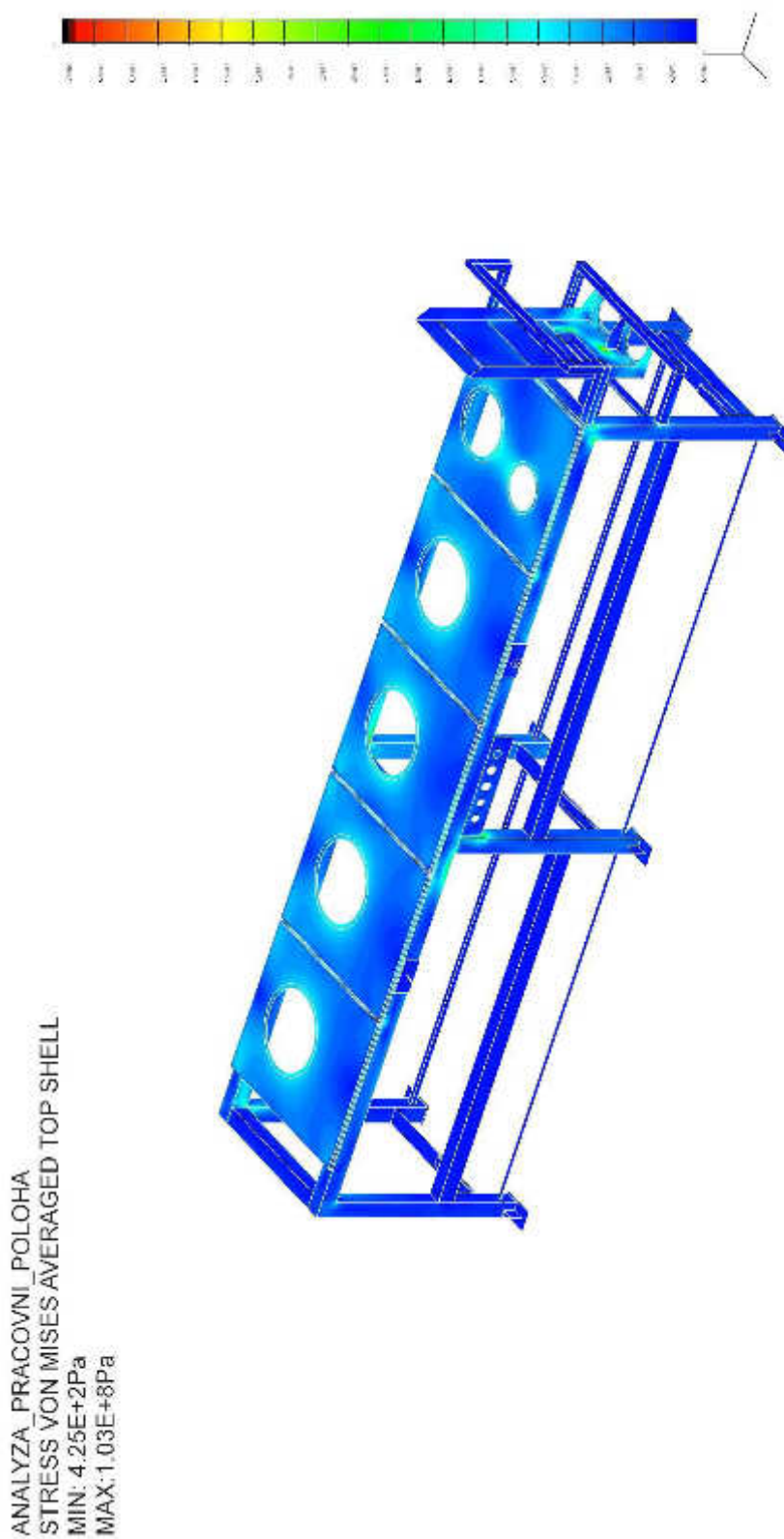
P8 Rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 41,6MPa



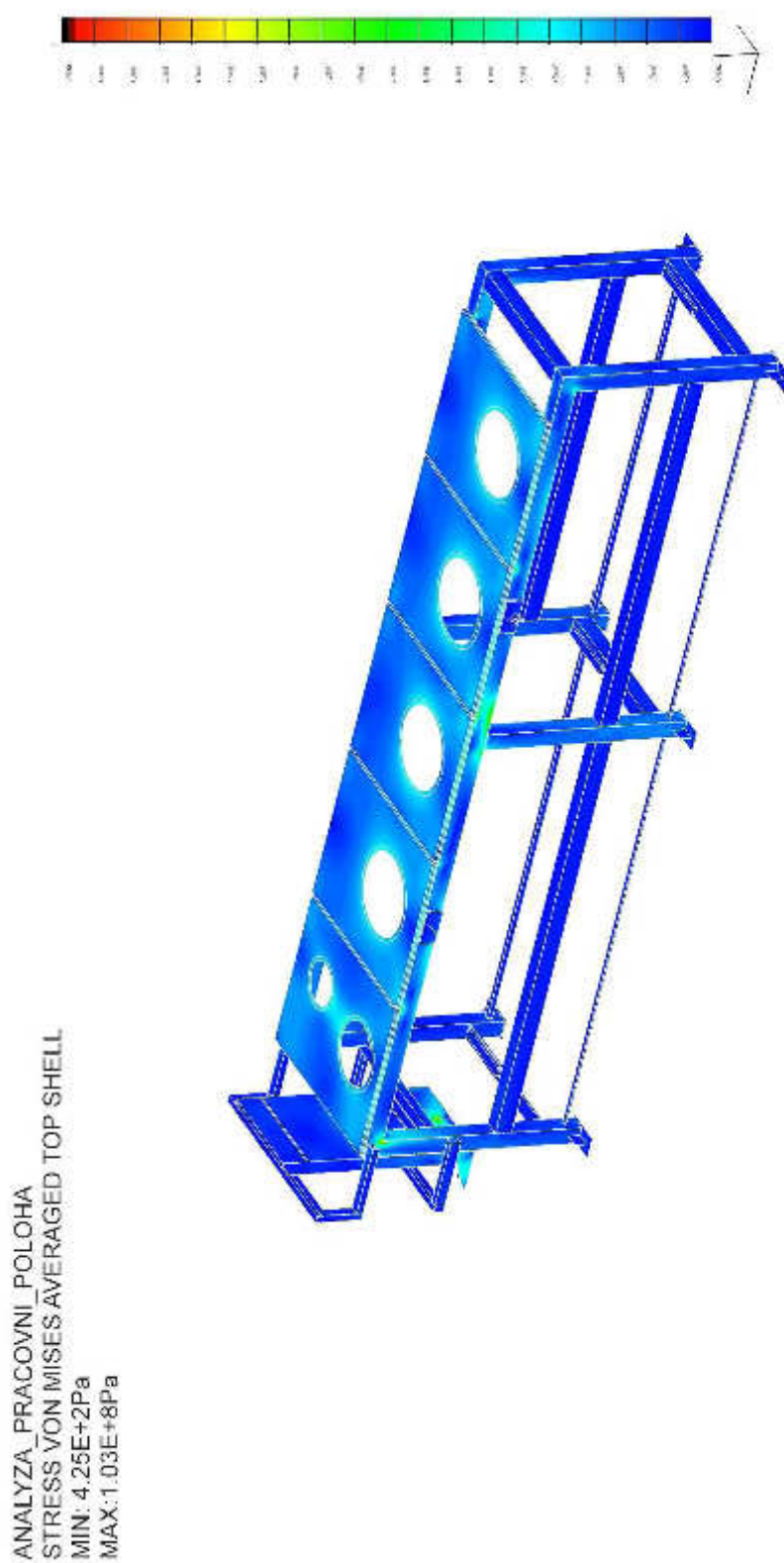
P9 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-1,69mm; max. napětí 1,69mm



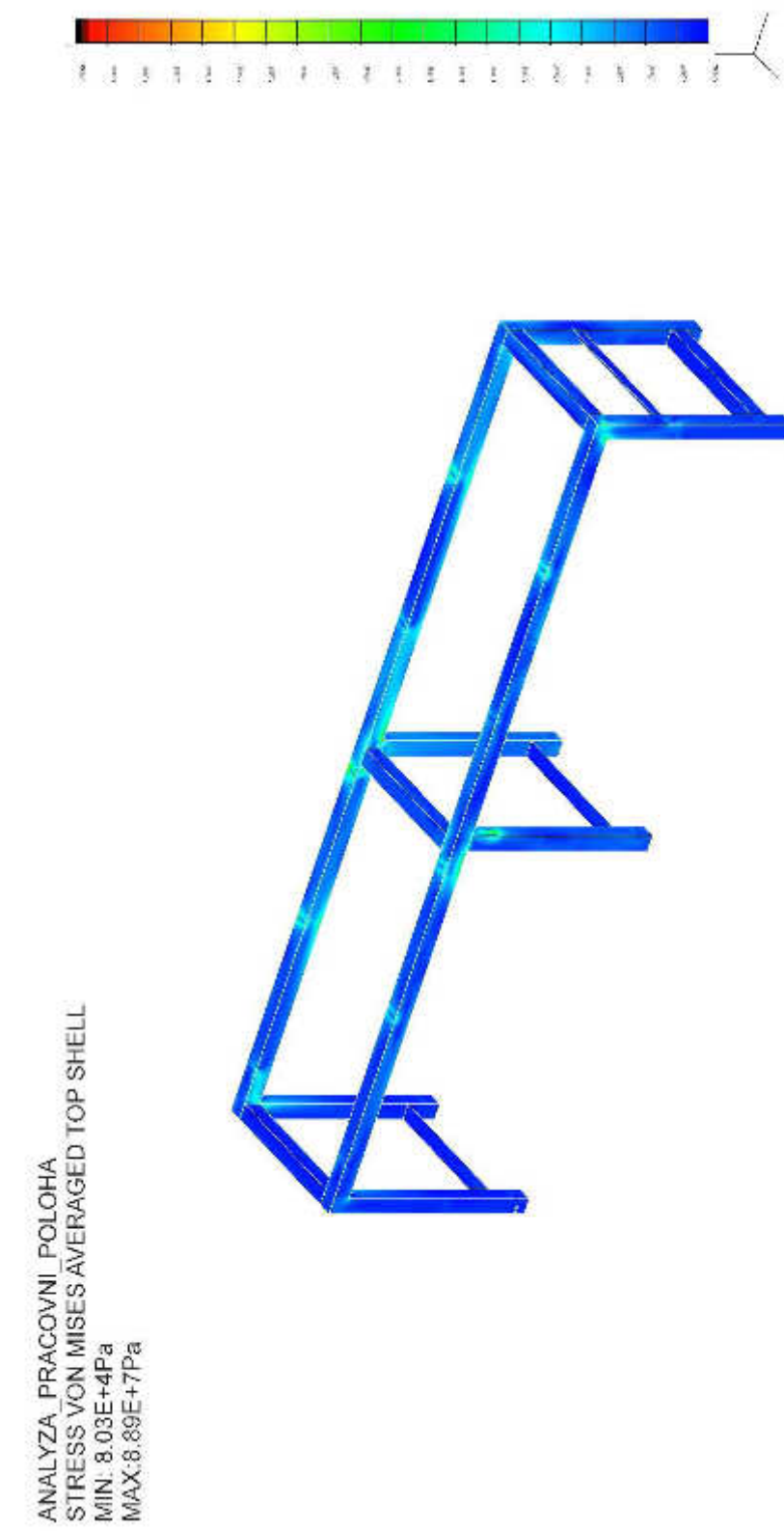
P10 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa



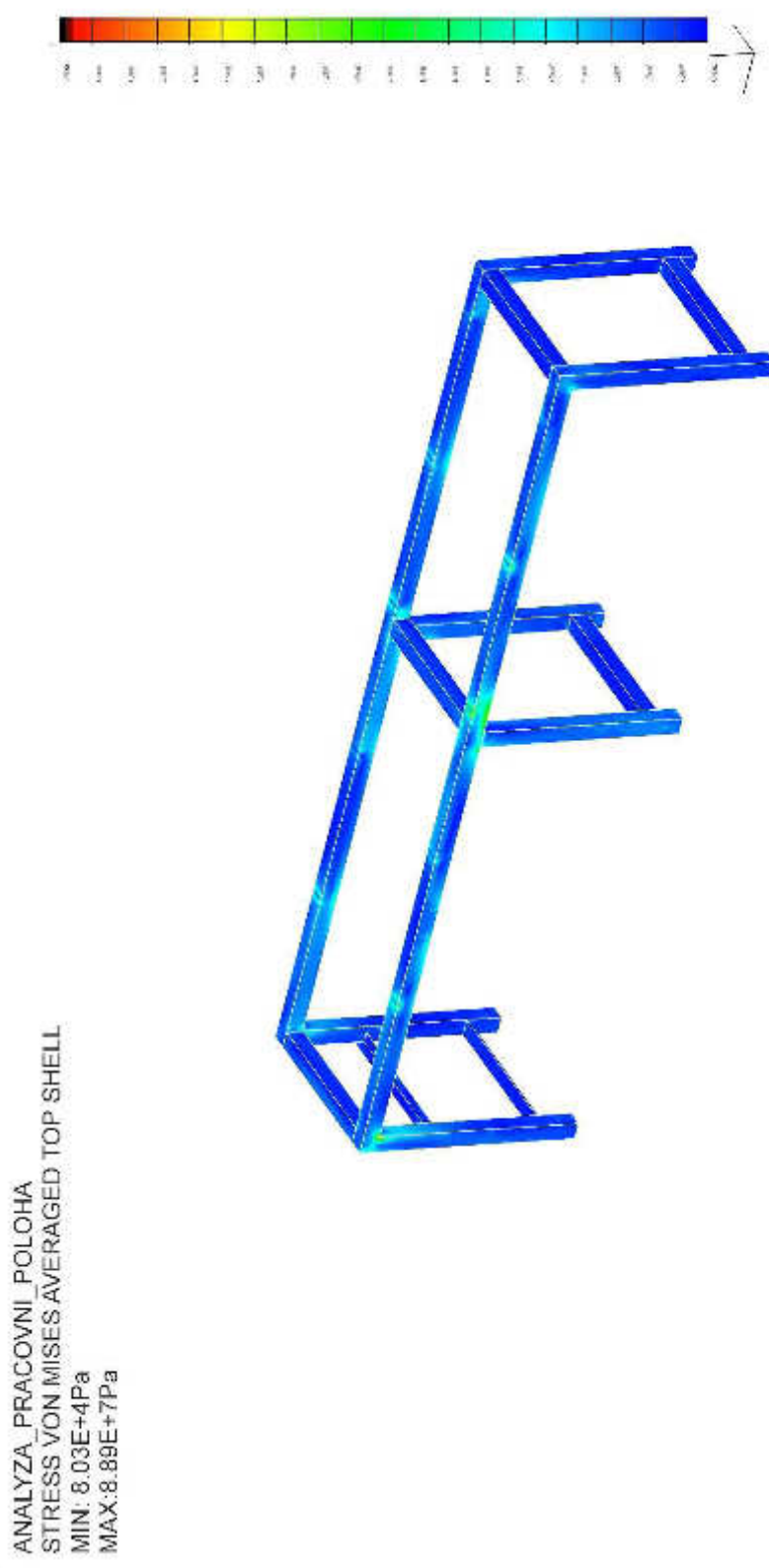
P11 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa



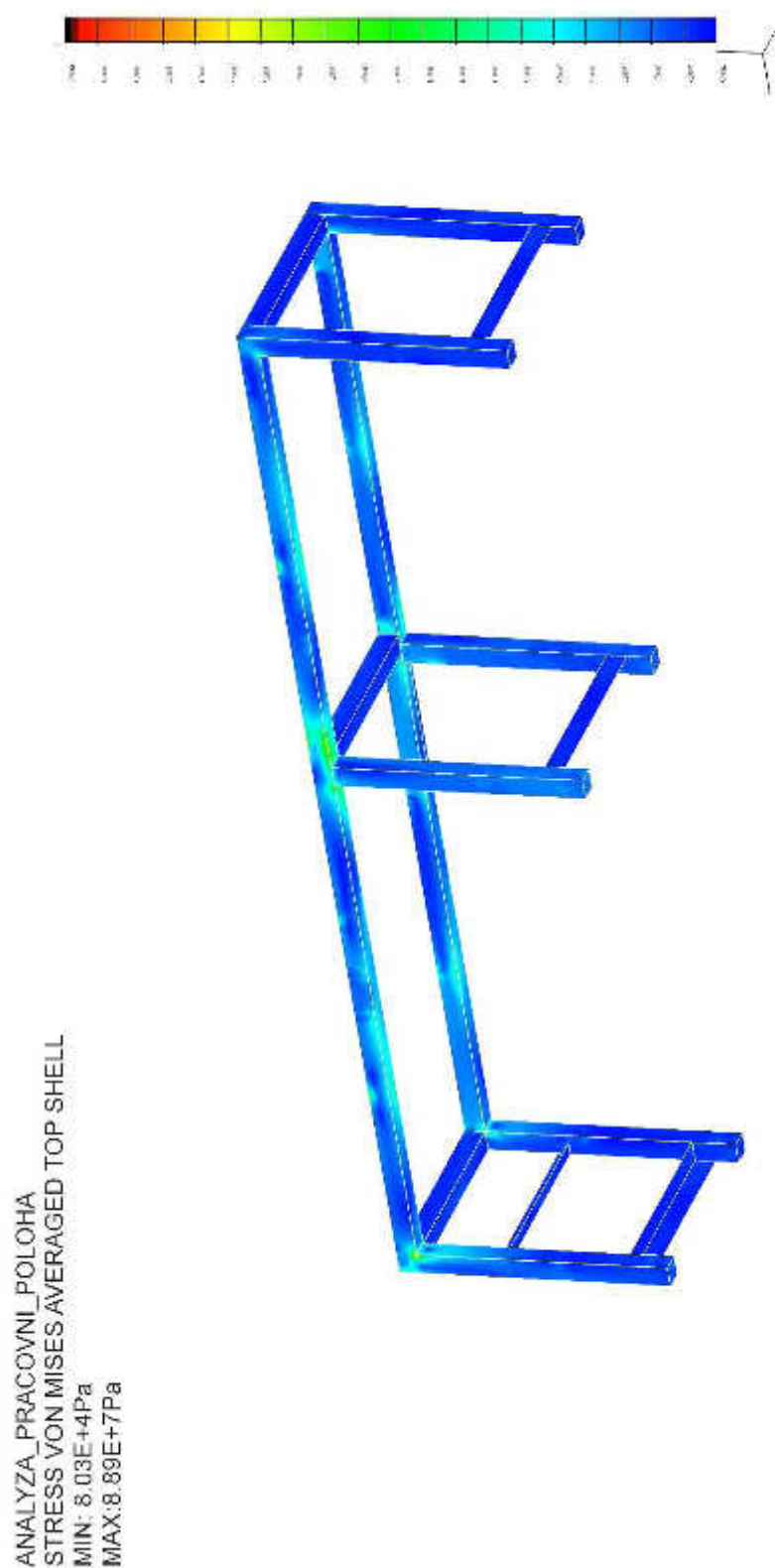
P12 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 88,9MPa



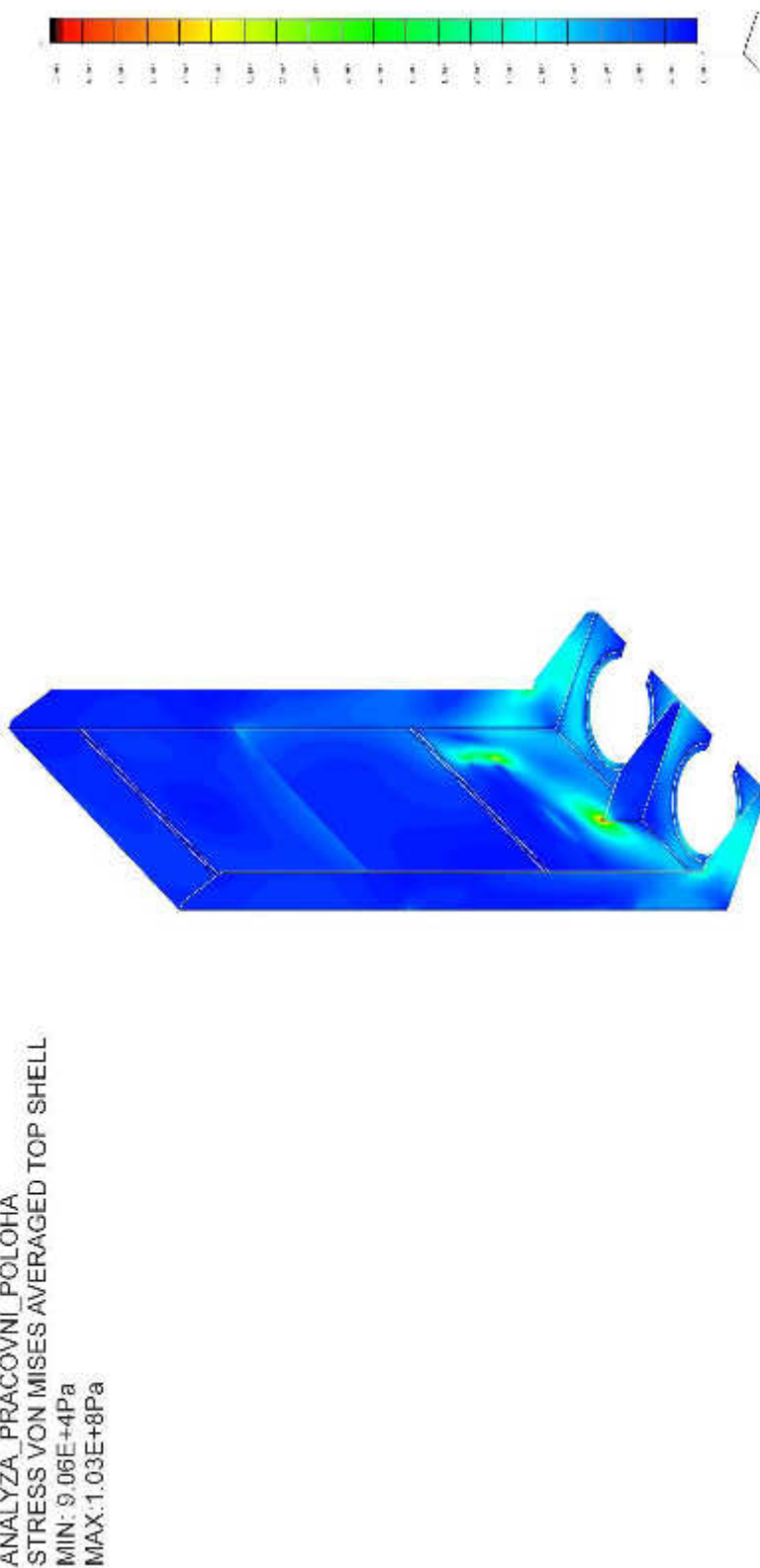
P13 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 88,9MPa



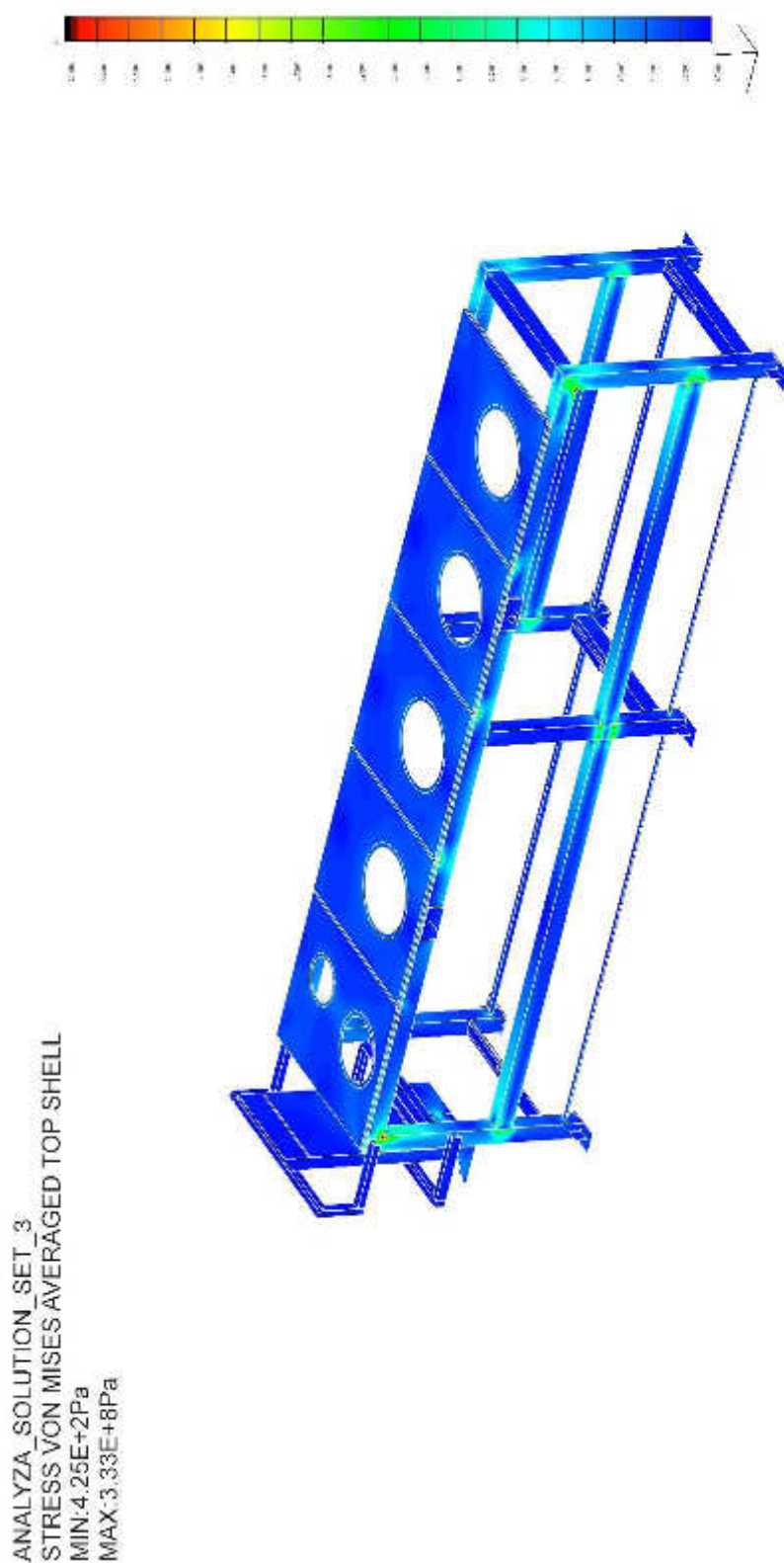
P14 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 88.9MPa



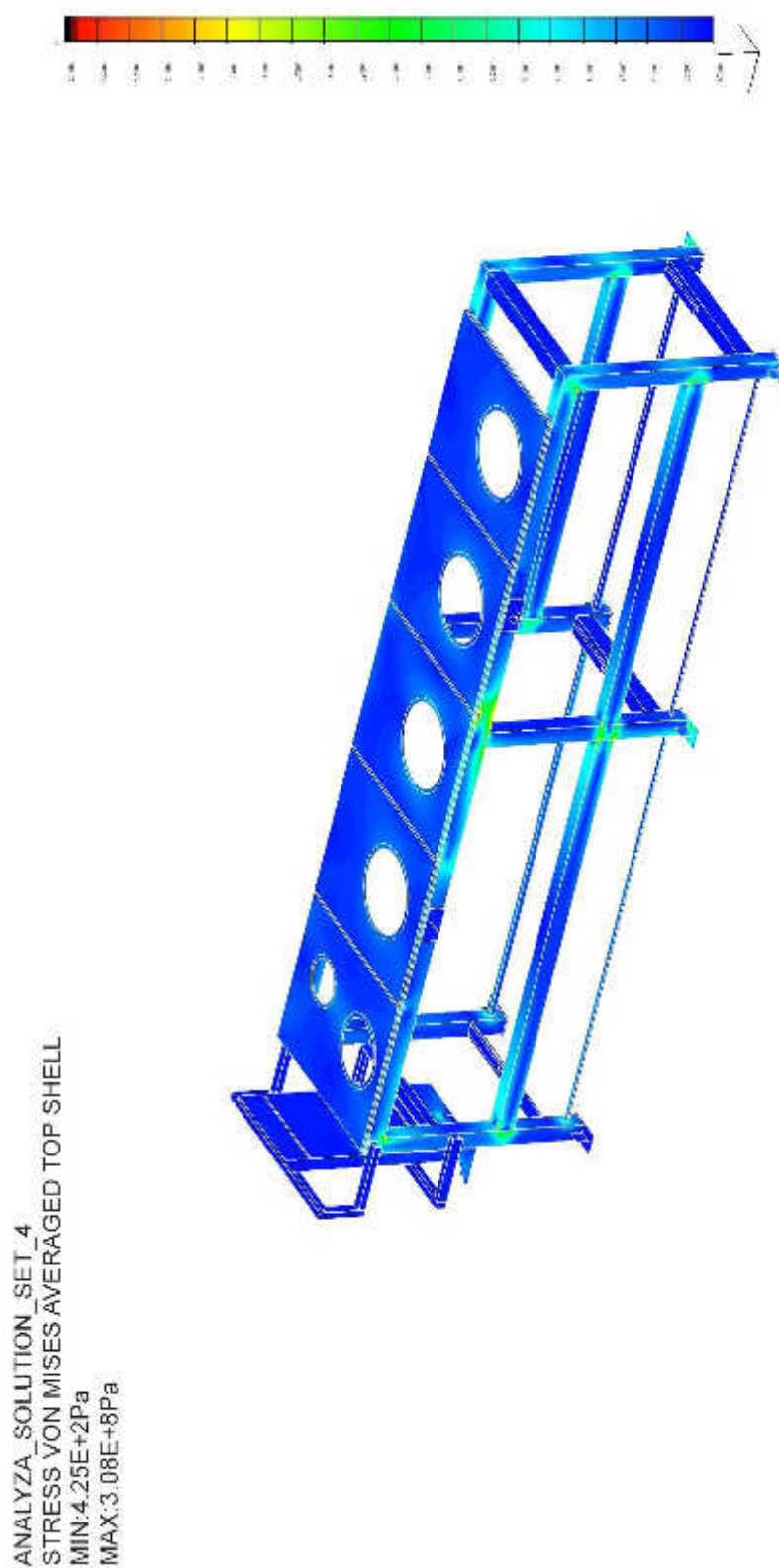
P15 Rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 103MPa



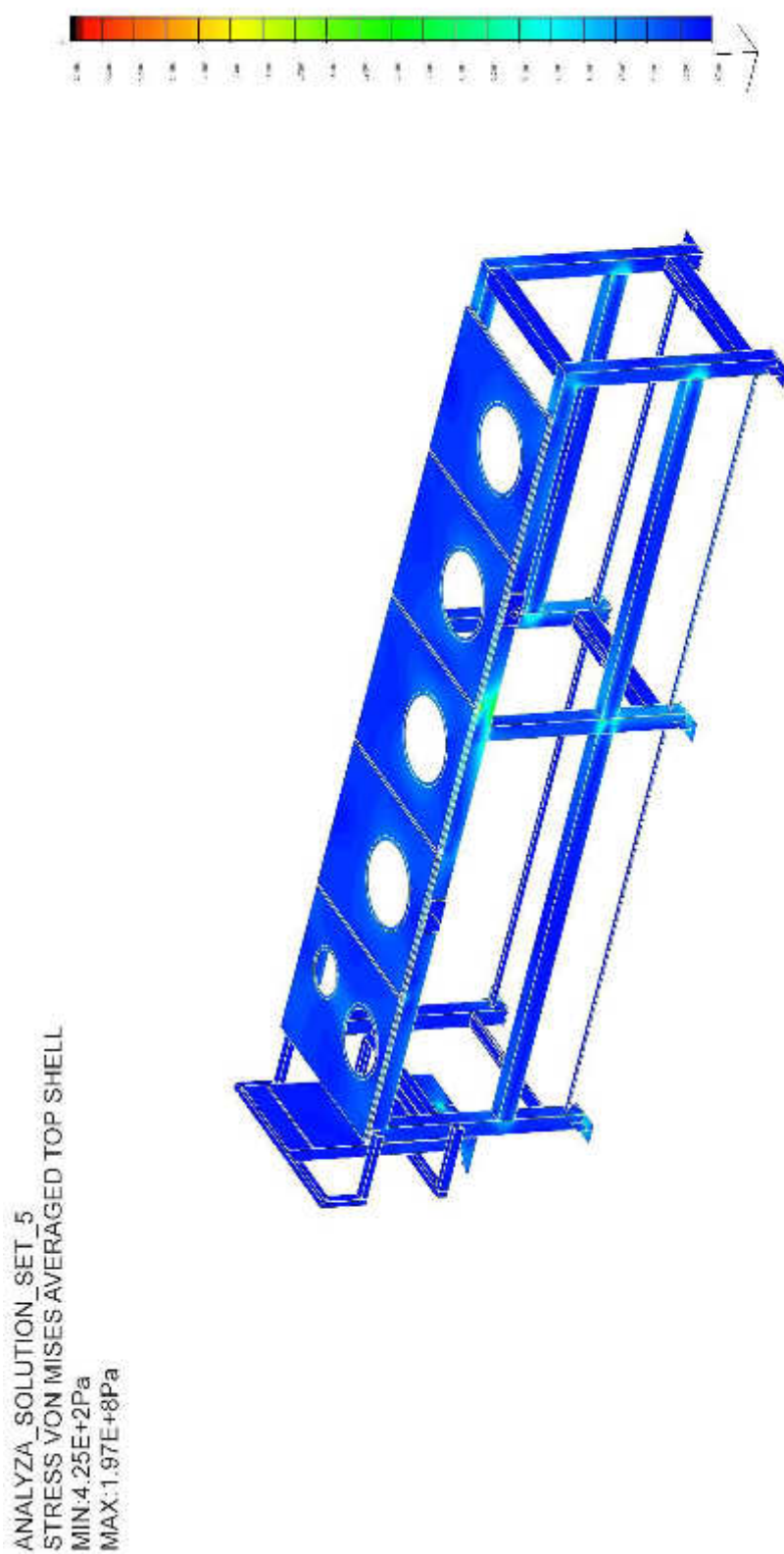
P16 Rám pohonné jednotky – Solution_set_03; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 333MPa



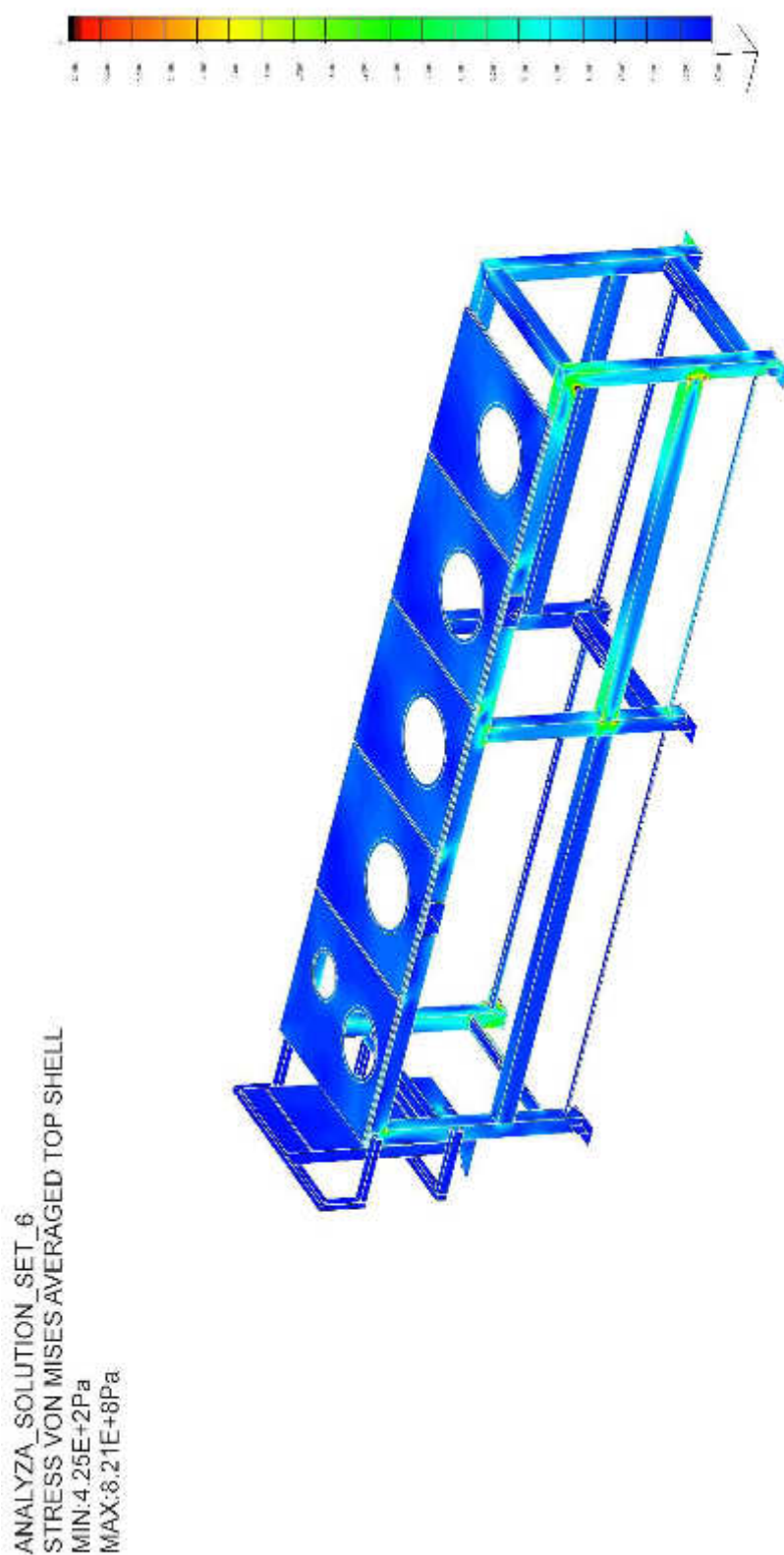
P17 Rám pohonné jednotky – Solution_set_04; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 308MPa



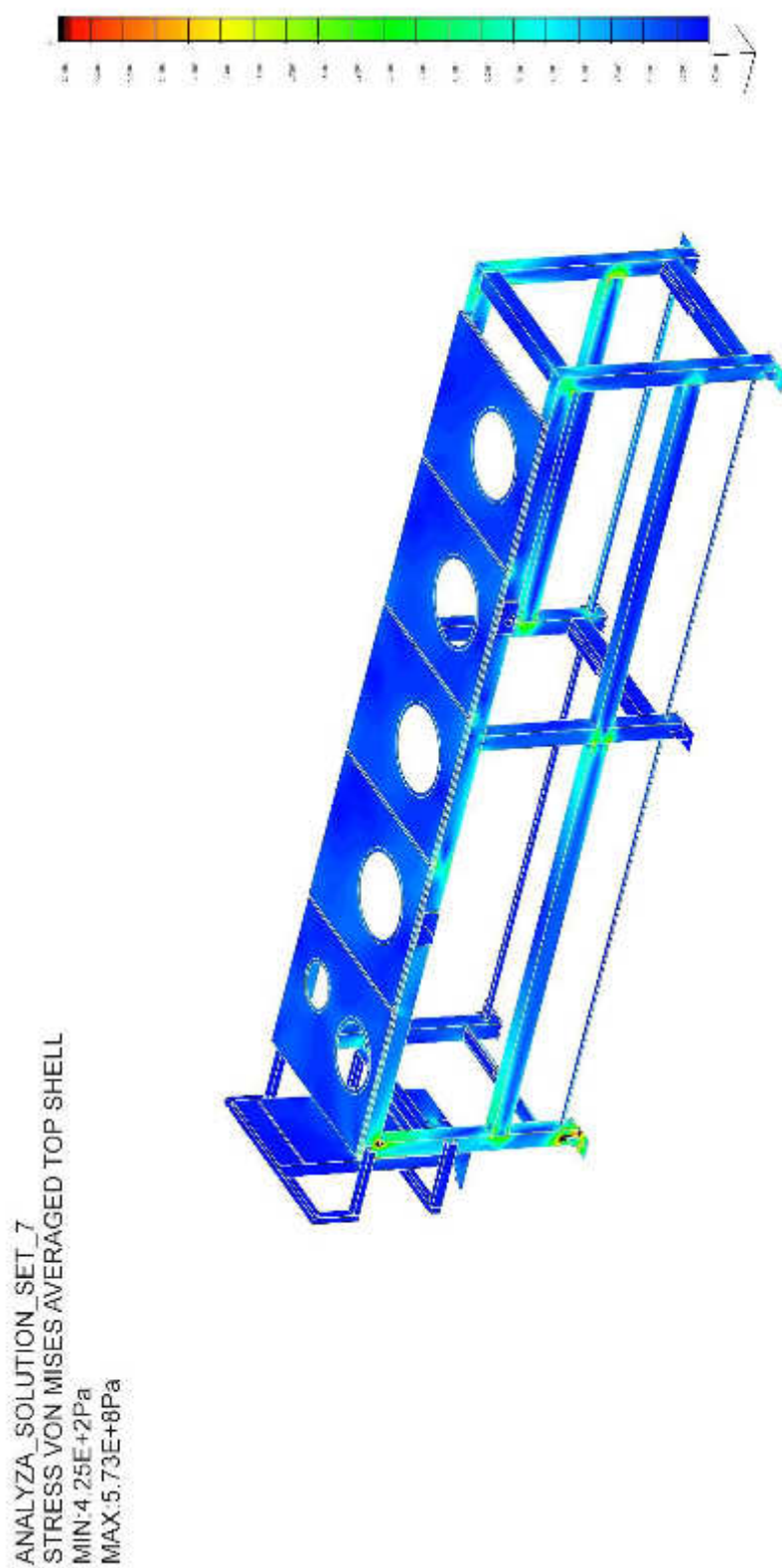
P18 Rám pohonné jednotky – Solution_set_05; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 197MPa



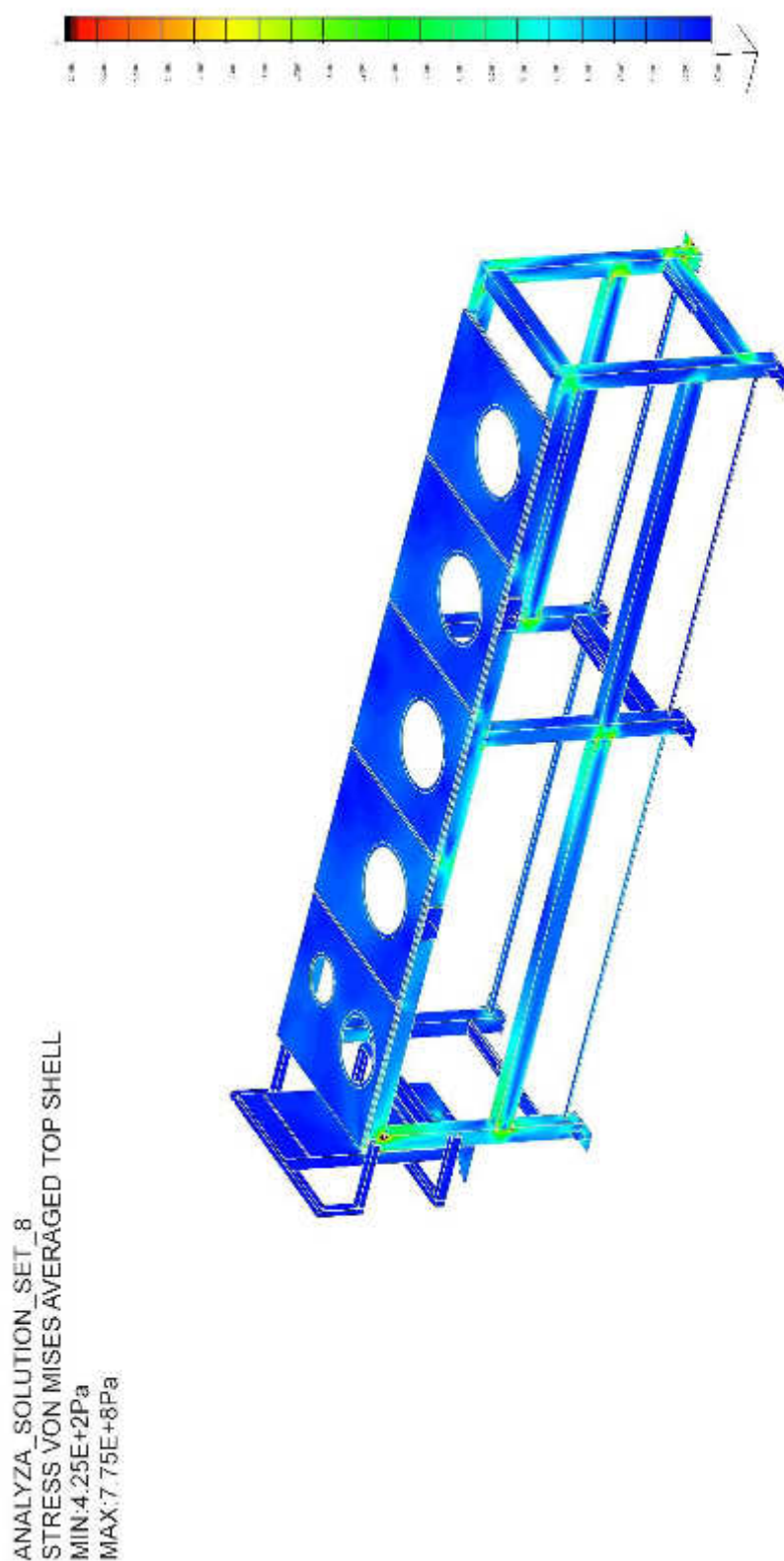
P19 Rám pohonné jednotky – Solution_set_06; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 821MPa



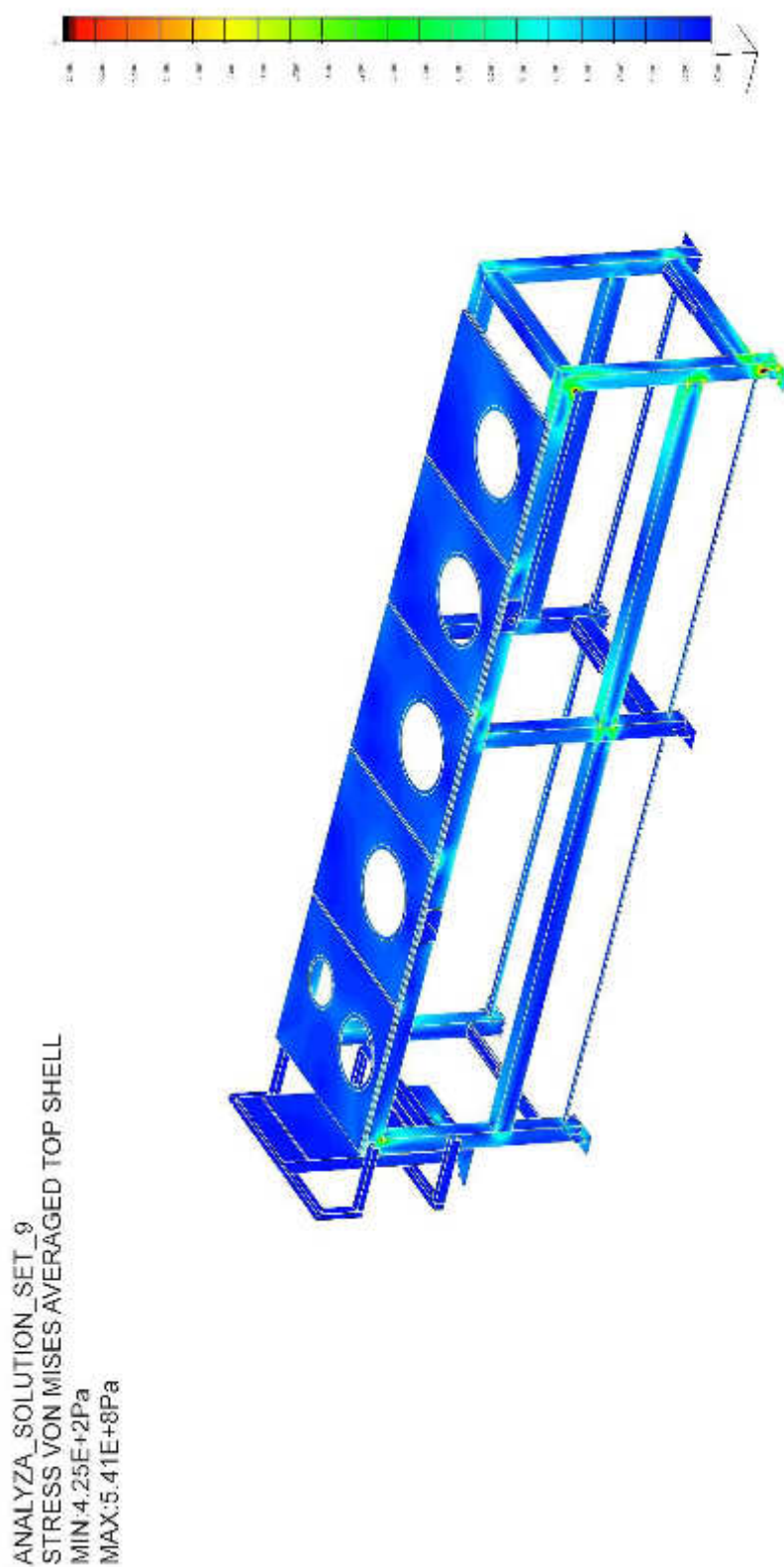
P20 Rám pohonné jednotky – Solution_set_07; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 573MPa



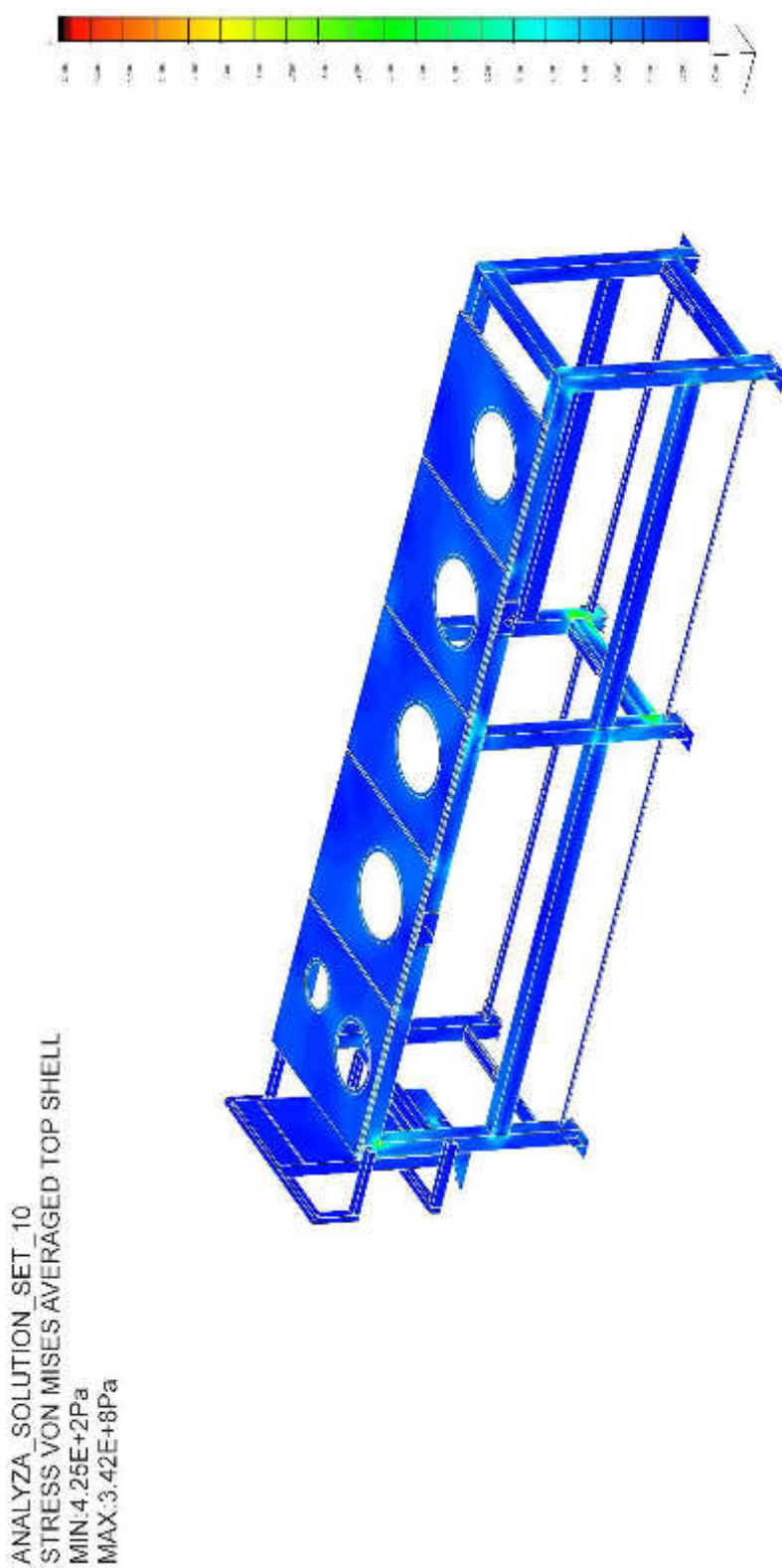
P21 Rám pohonné jednotky – Solution_set_08; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 775MPa



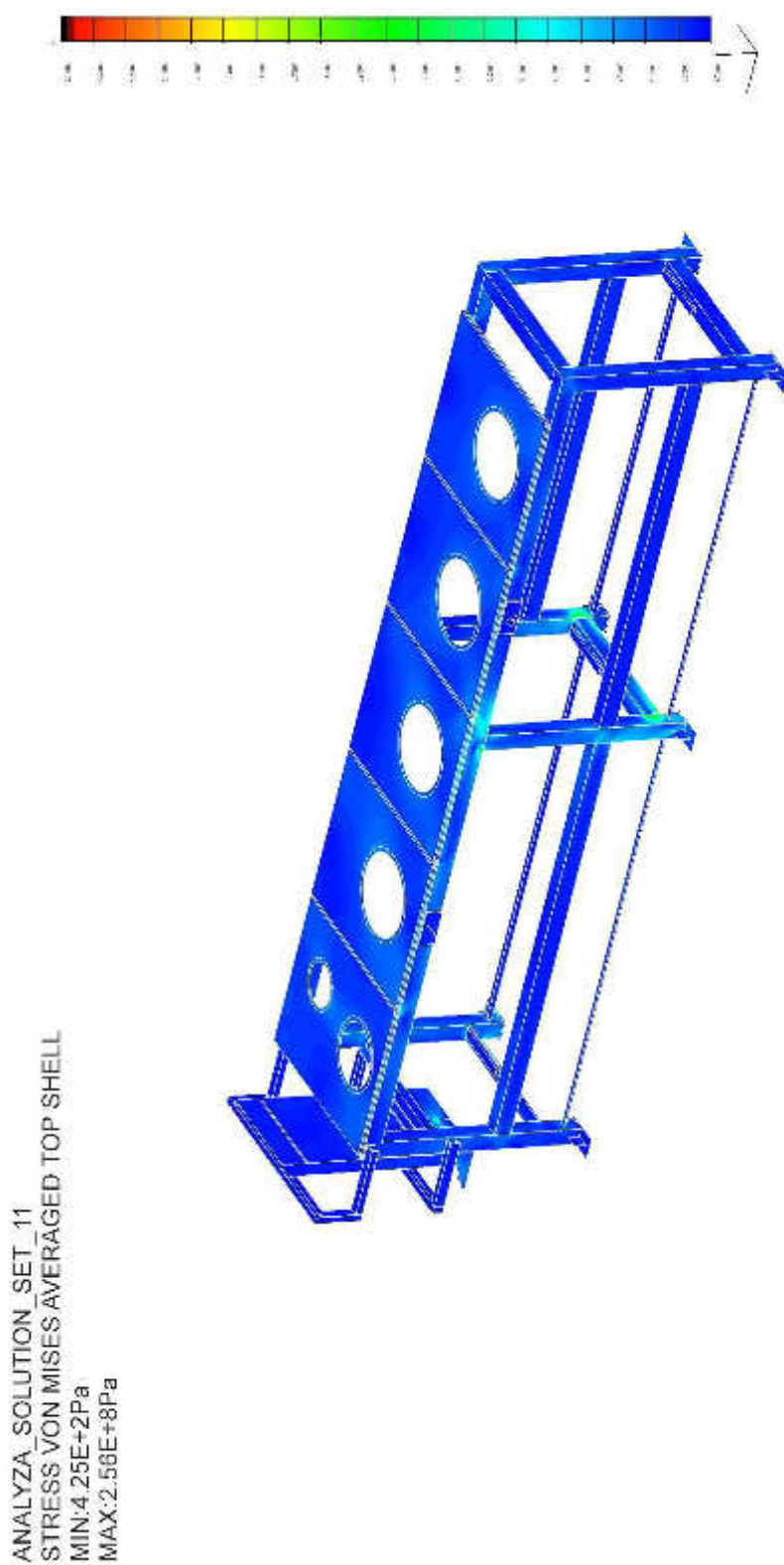
P22 Rám pohonné jednotky – Solution_set_09; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 541MPa



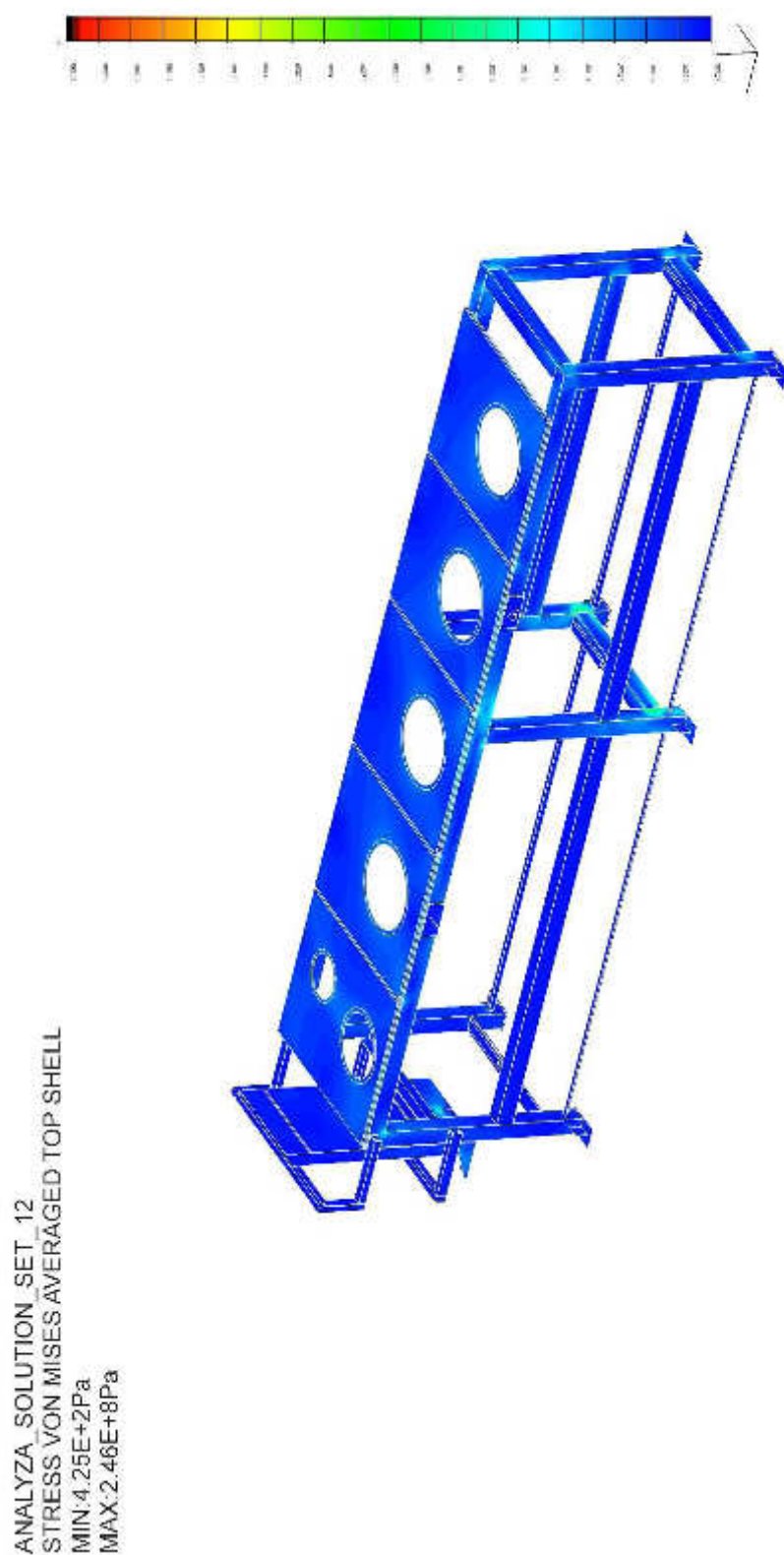
P23 Rám pohonné jednotky – Solution_set_10; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 342MPa



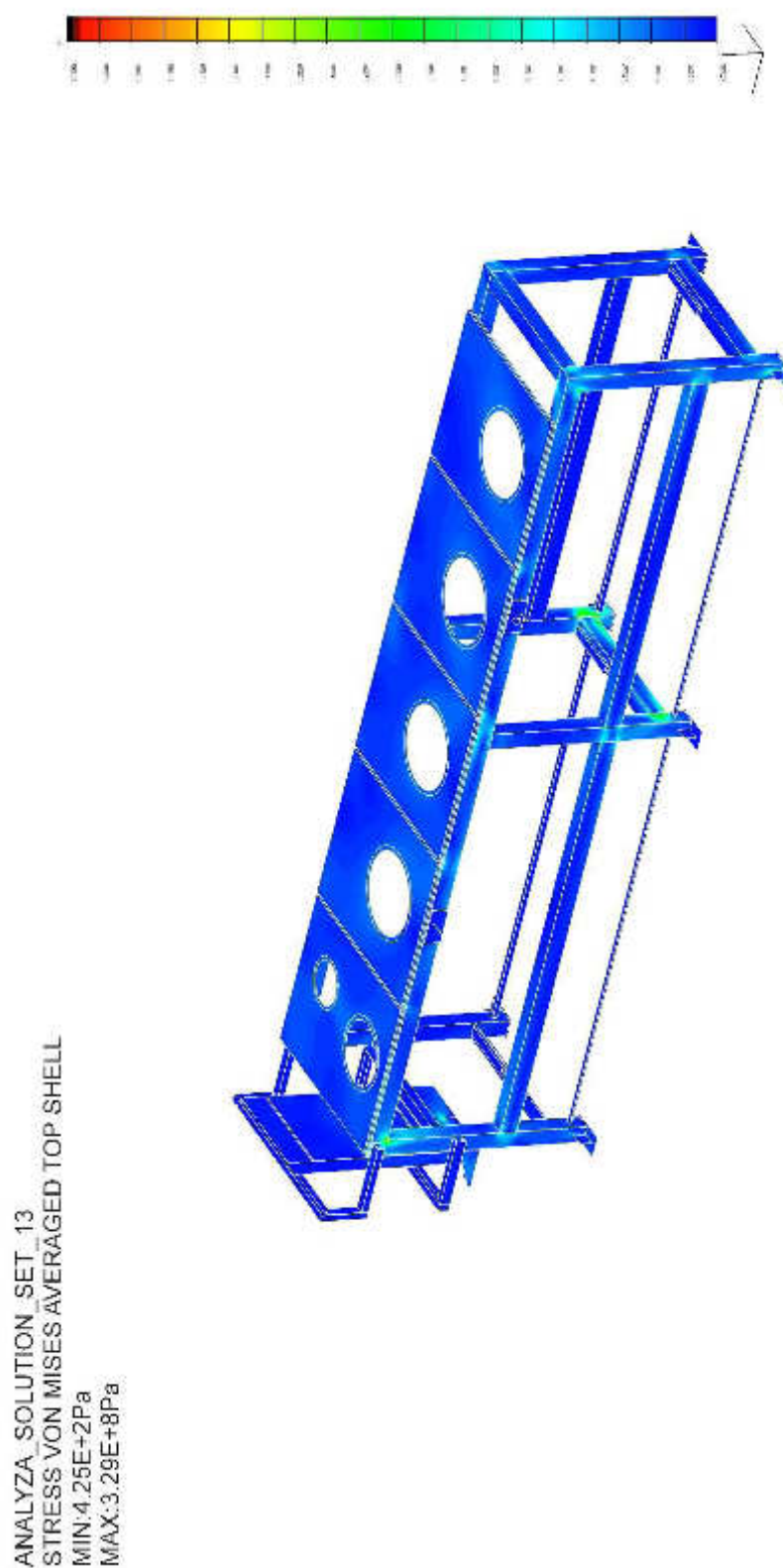
P24 Rám pohonné jednotky – Solution_set_11; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 256MPa



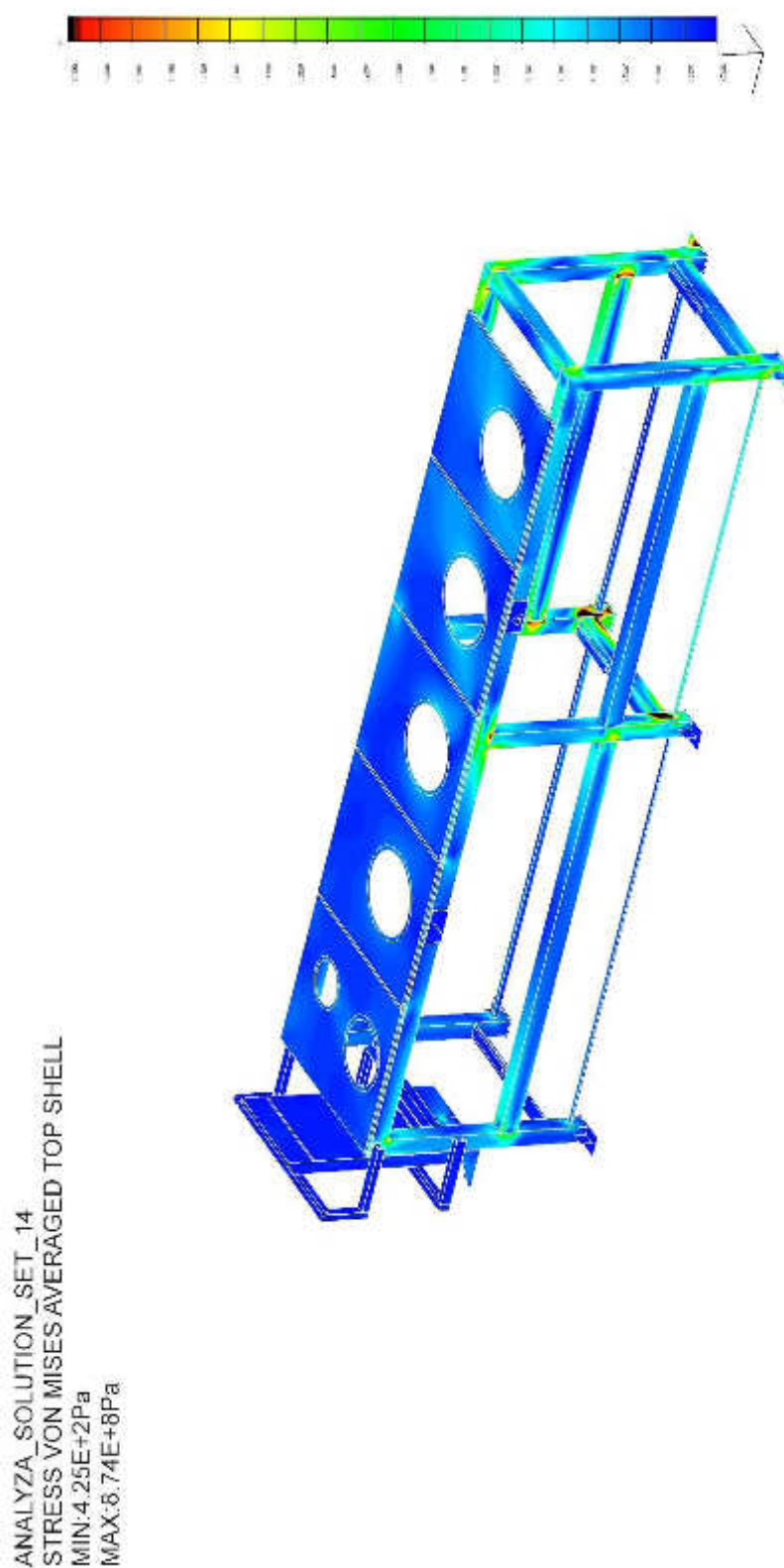
P25 Rám pohonné jednotky – Solution_set_12; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 246MPa



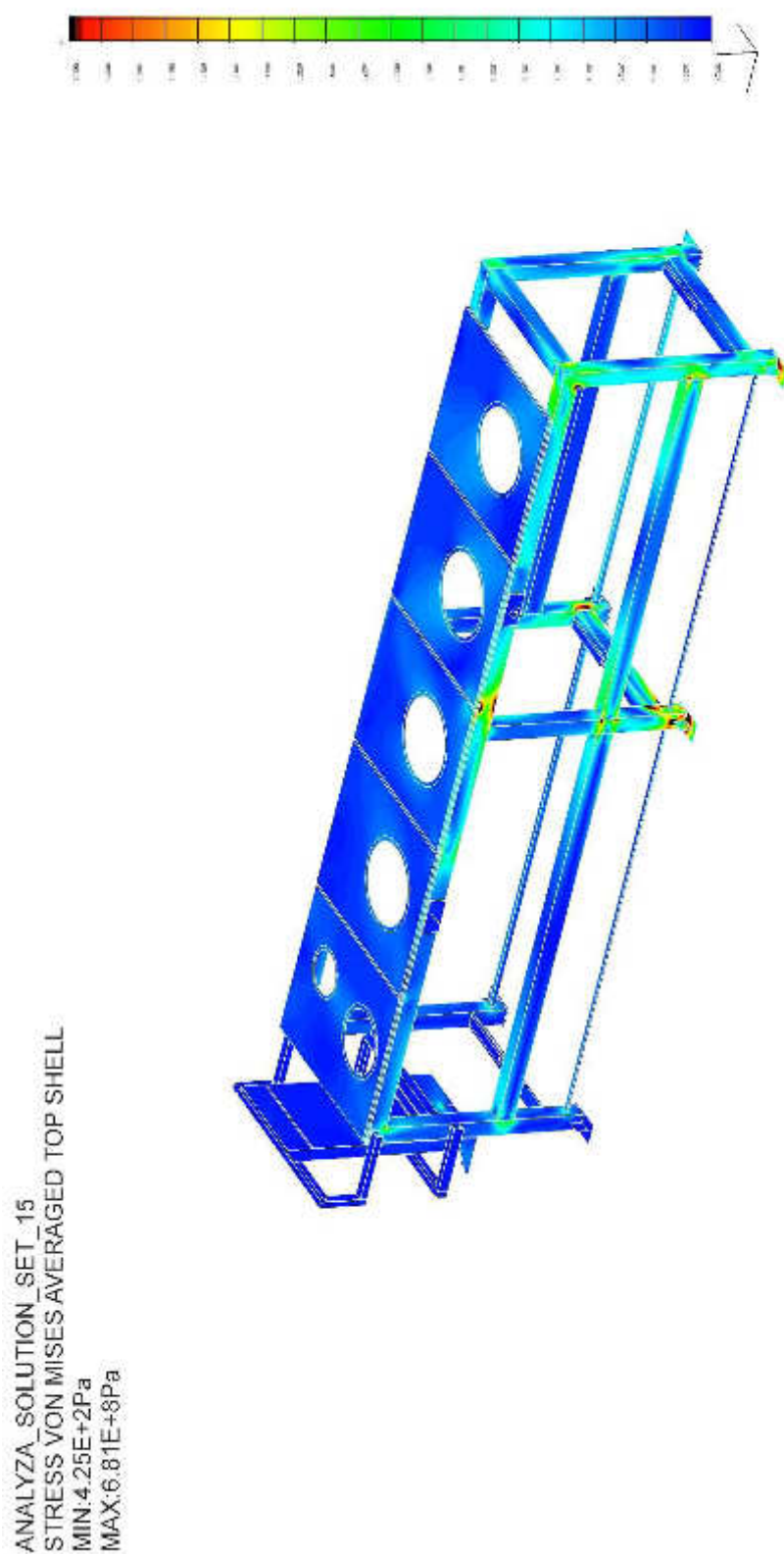
P26 Rám pohonné jednotky – Solution_set_13; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 329MPa



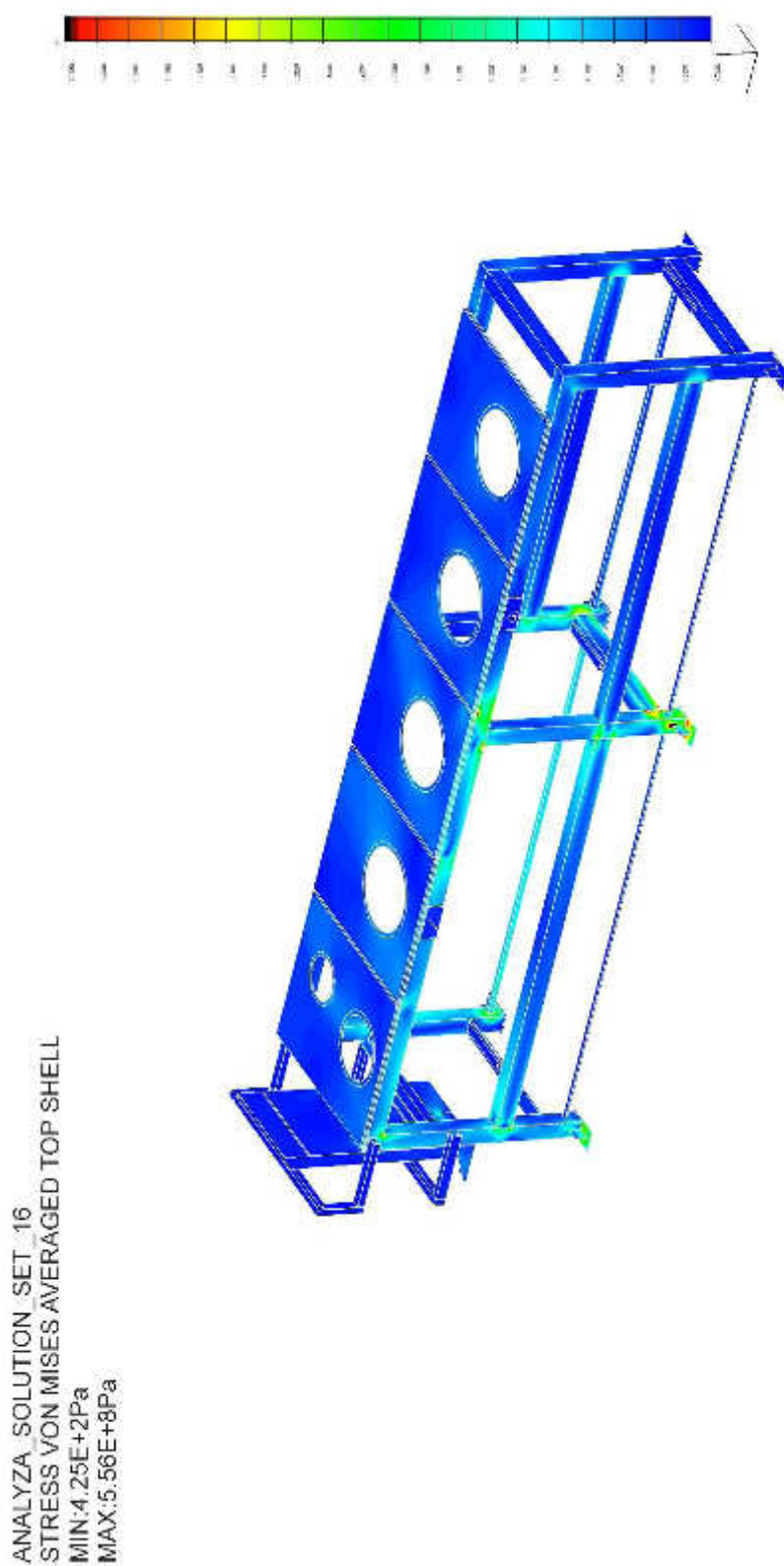
P27 Rám pohonné jednotky – Solution_set_14; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 874MPa



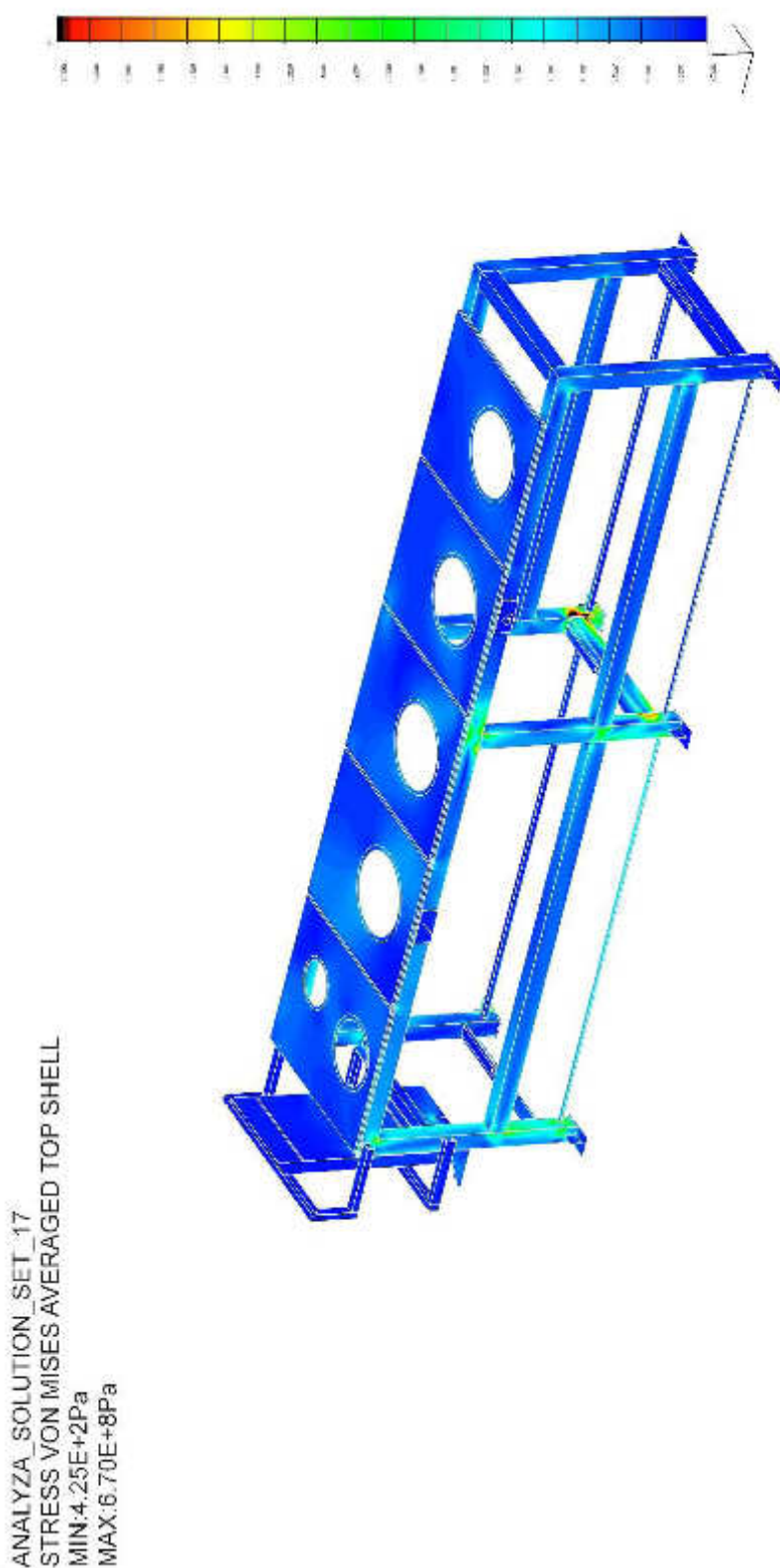
P28 Rám pohonné jednotky – Solution_set_15; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 681MPa



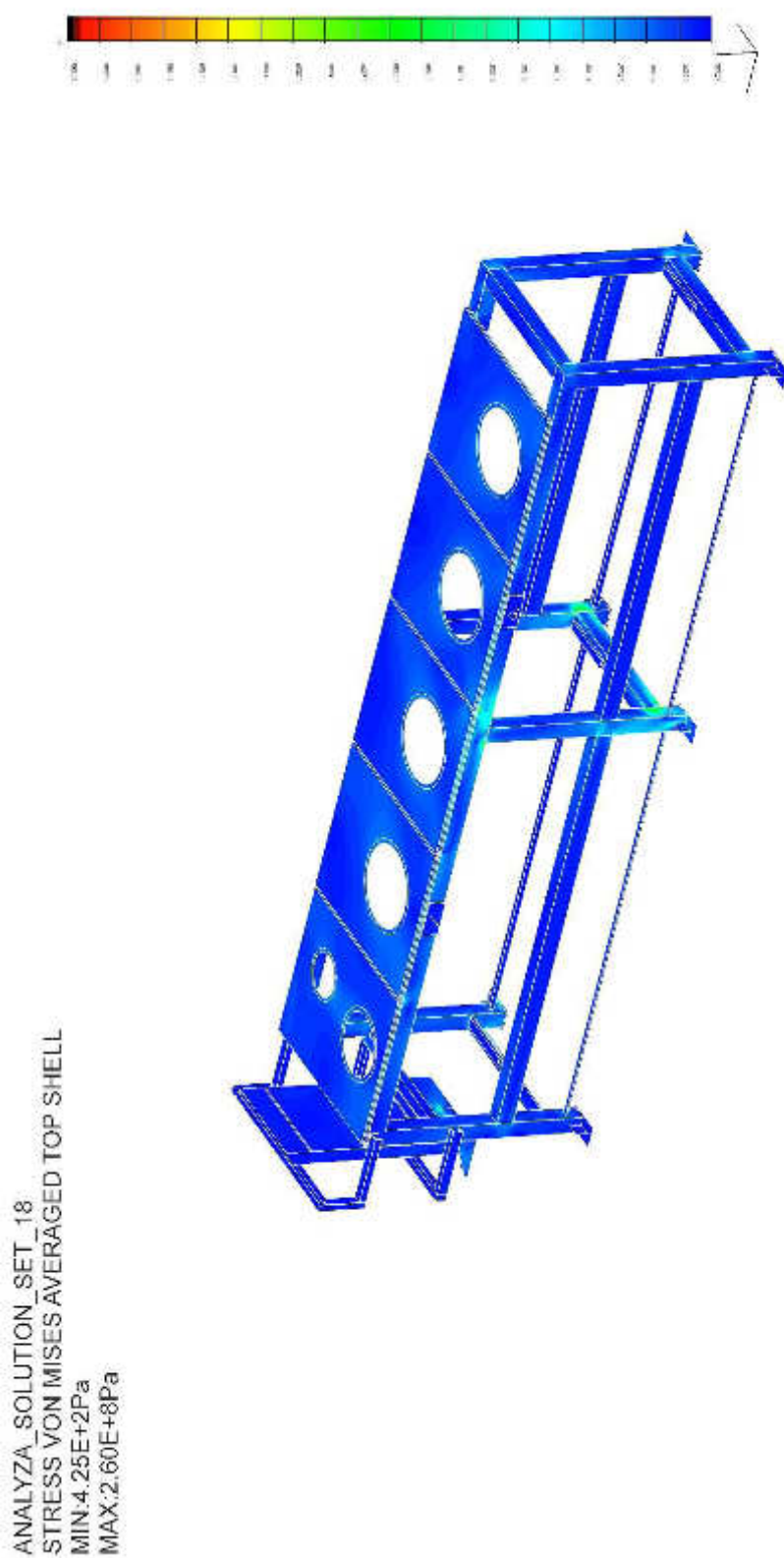
P29 Rám pohonné jednotky – Solution_set_16; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 556MPa



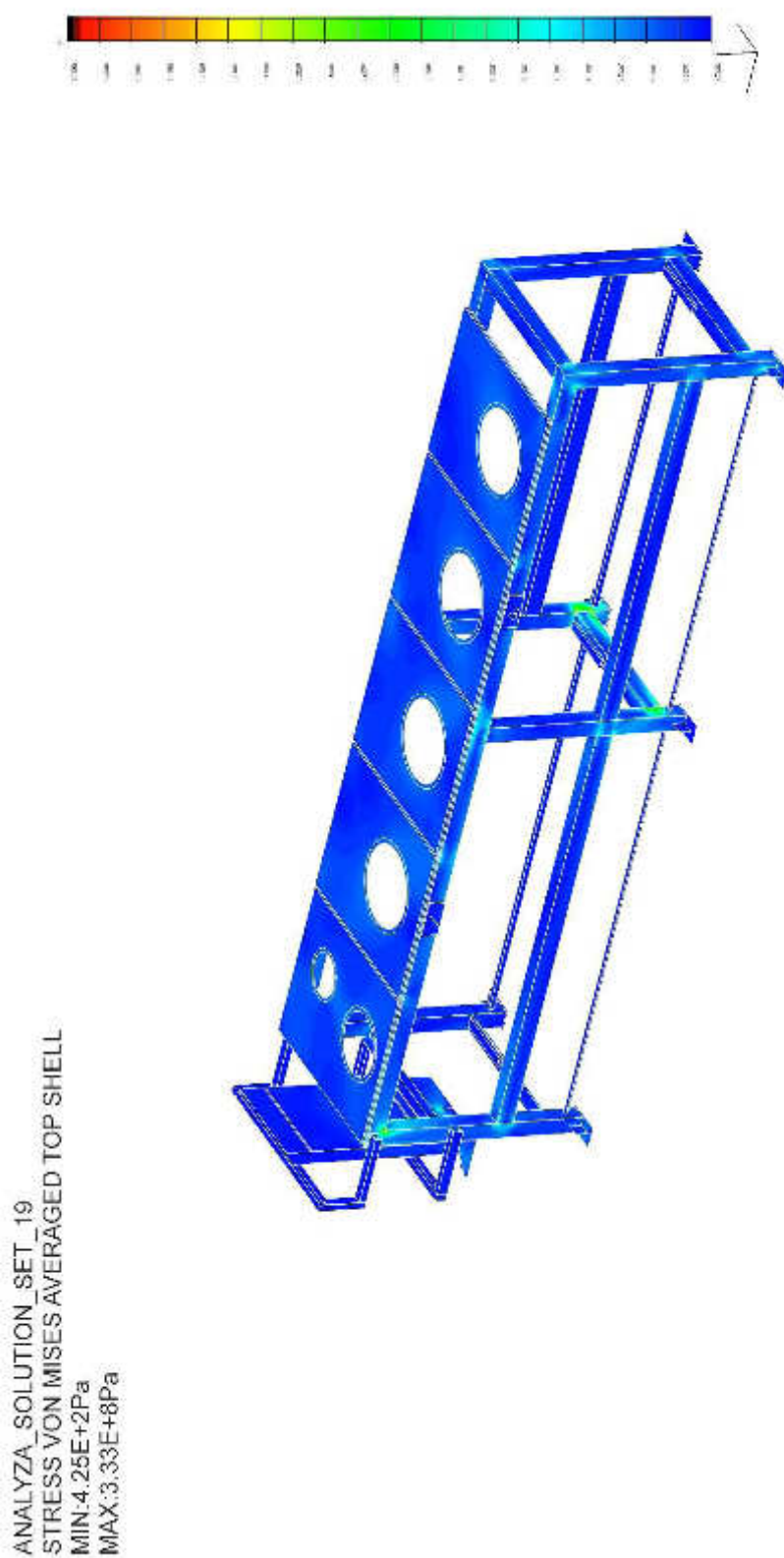
P30 Rám pohonné jednotky – Solution_set_17; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 670MPa



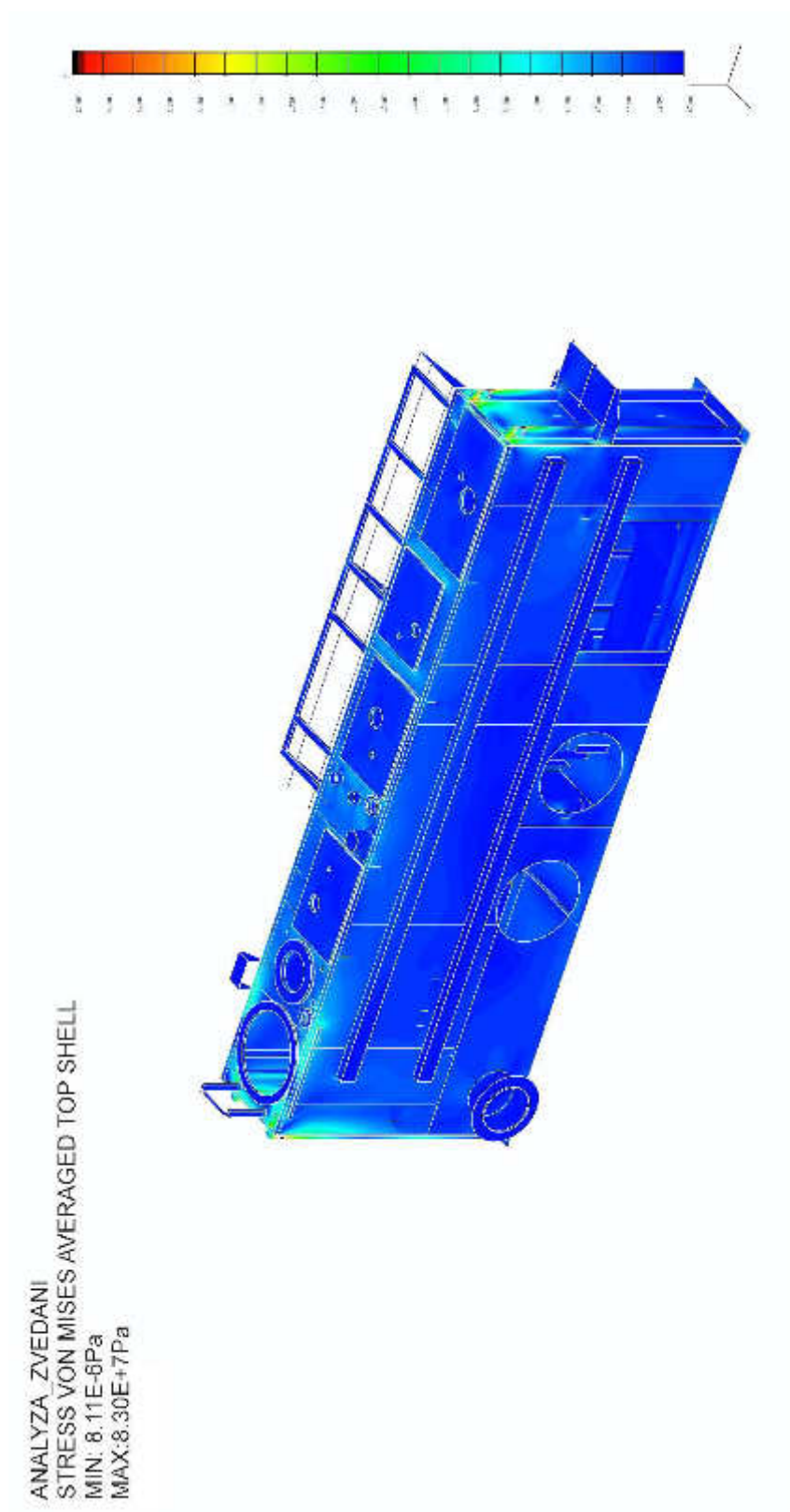
P31 Rám pohonné jednotky – Solution_set_18; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 260MPa



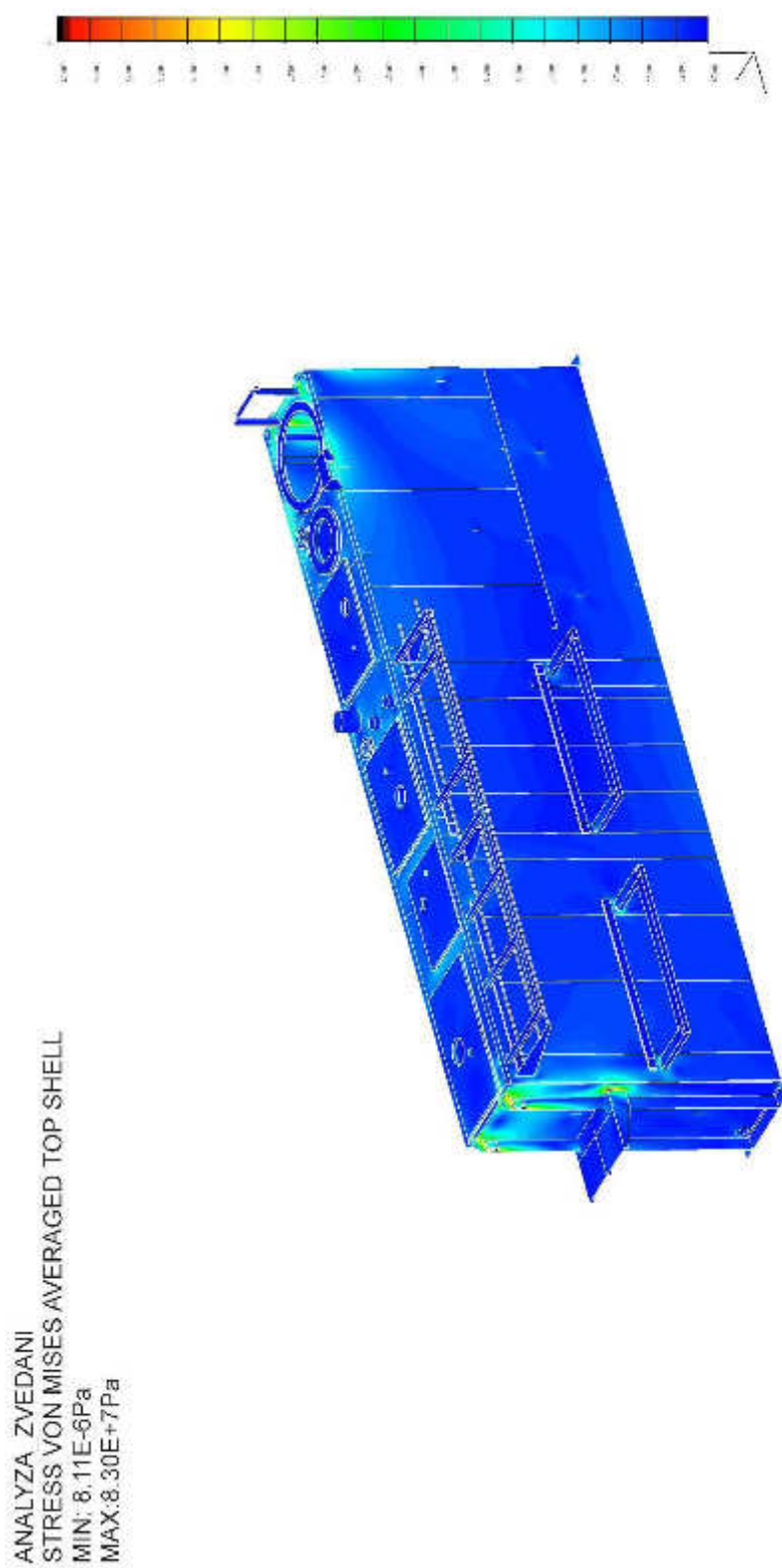
P32 Rám pohonné jednotky – Solution_set_19; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-235MPa; max. napětí 333MPa



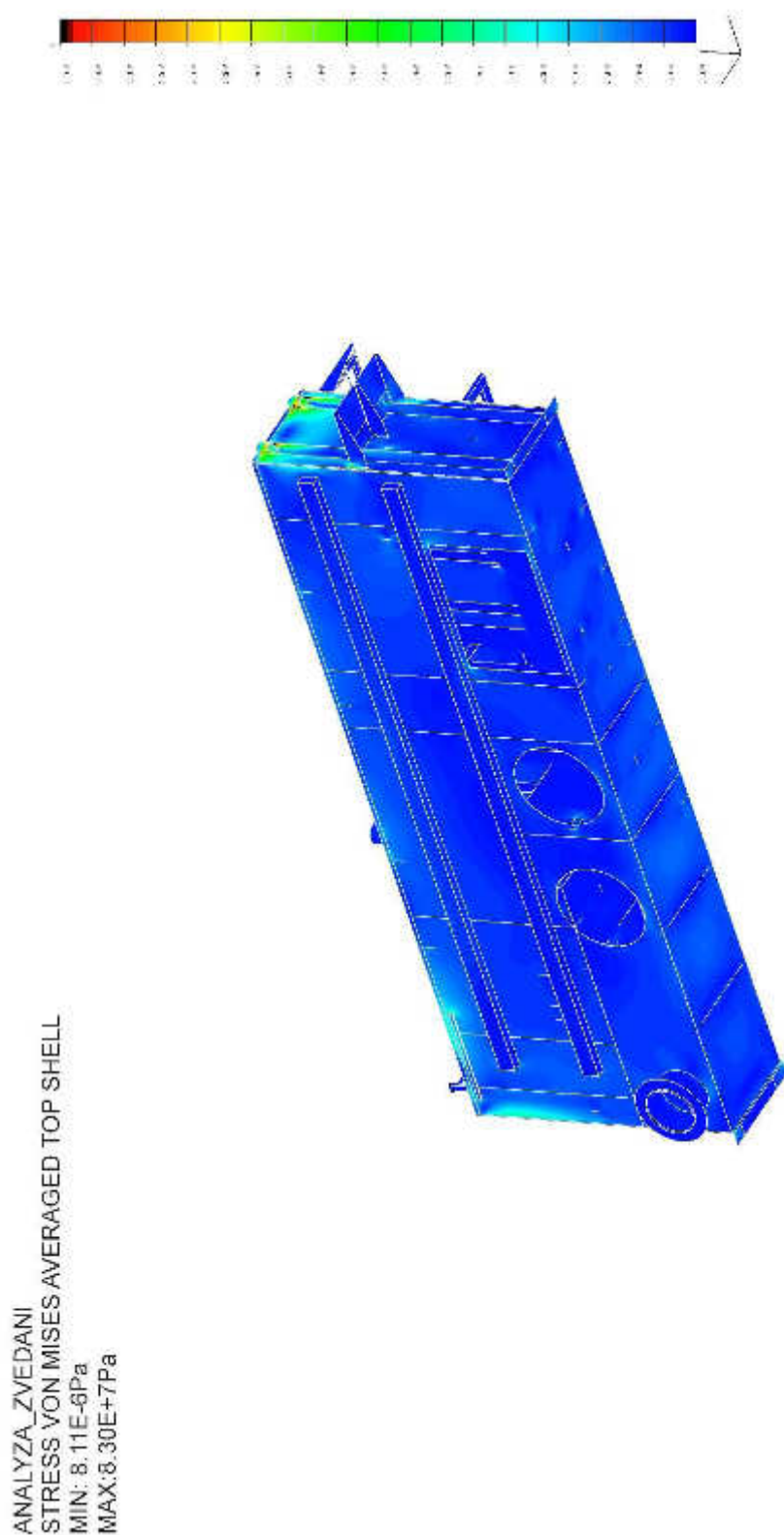
P33 Nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa



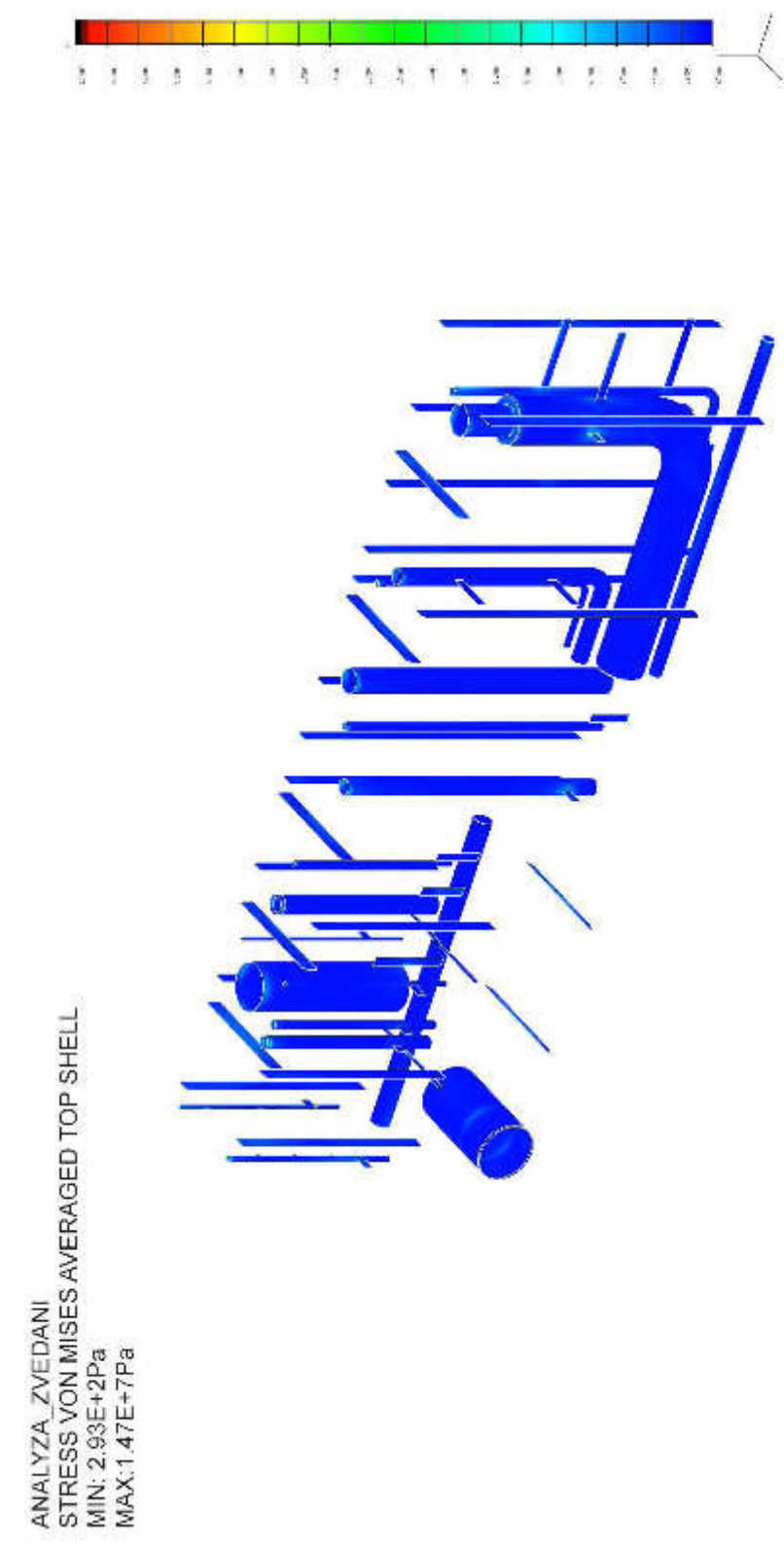
P34 Nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa



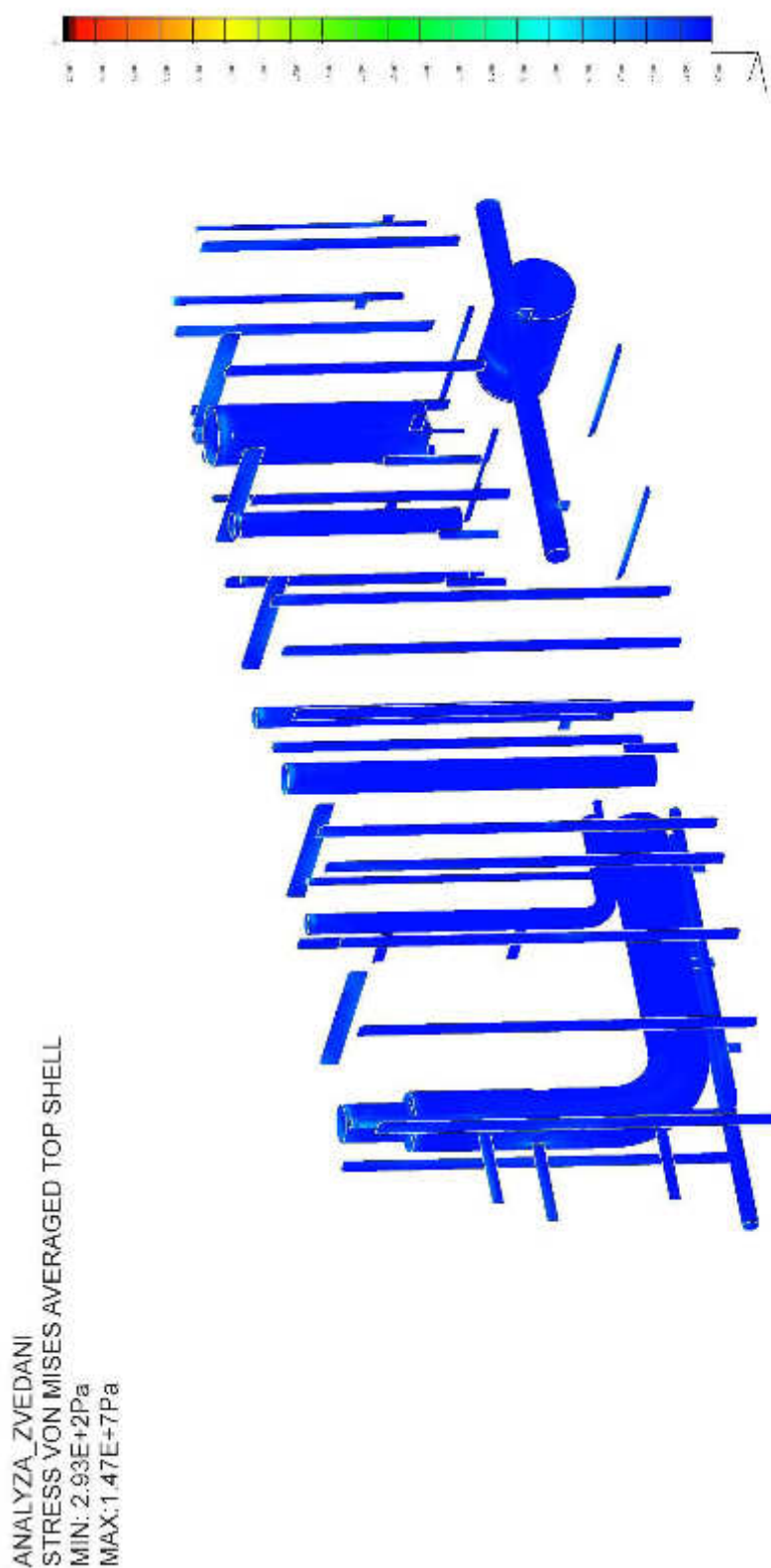
P35 Nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa



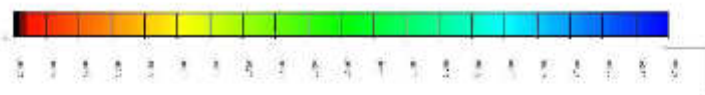
P36 Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 14,7MPa



P37 Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 14,7MPa

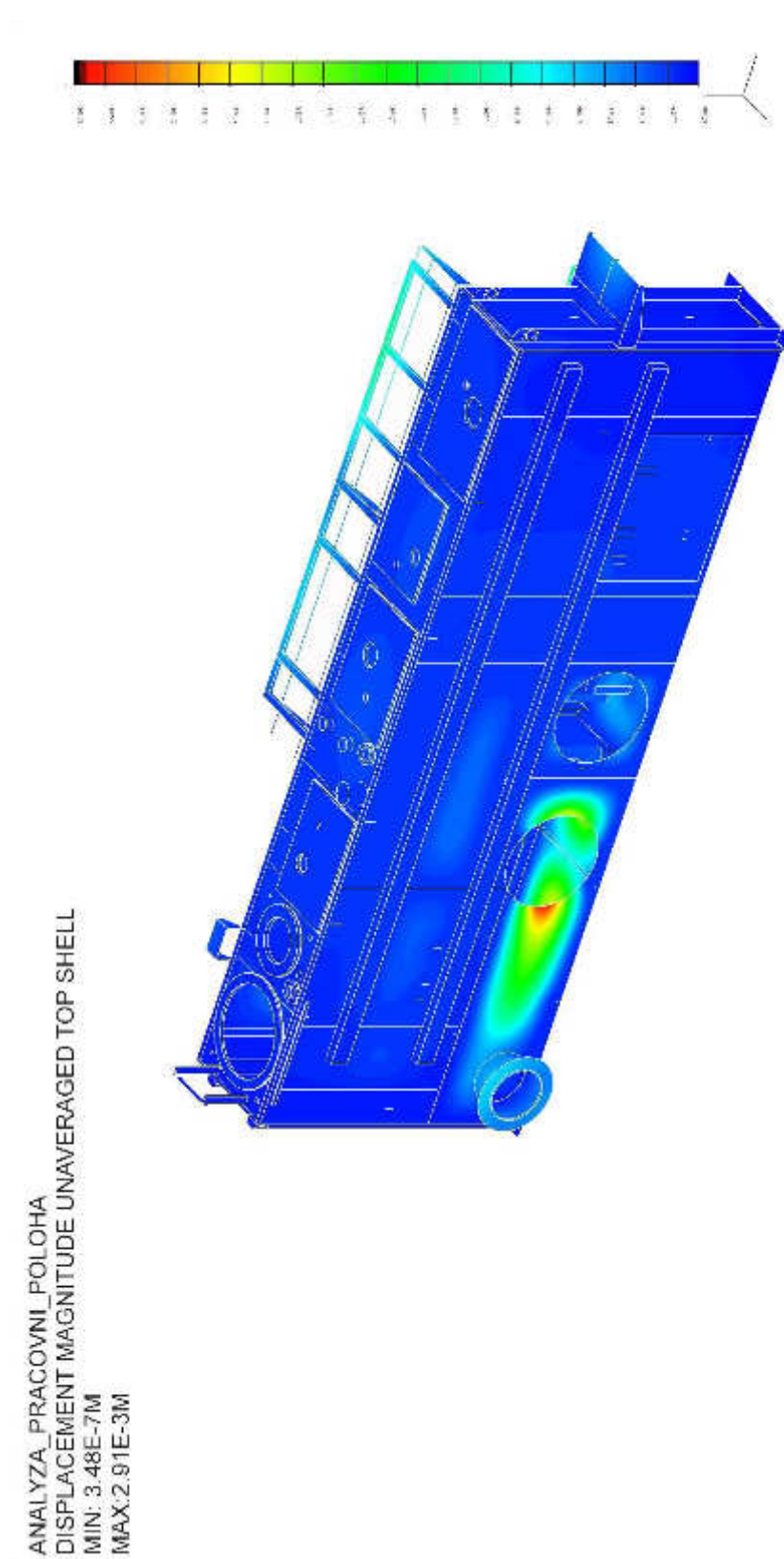


P38 Nádrž – zvedací oko – manipulace; nedeformovaný model; HMH; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 83MPa

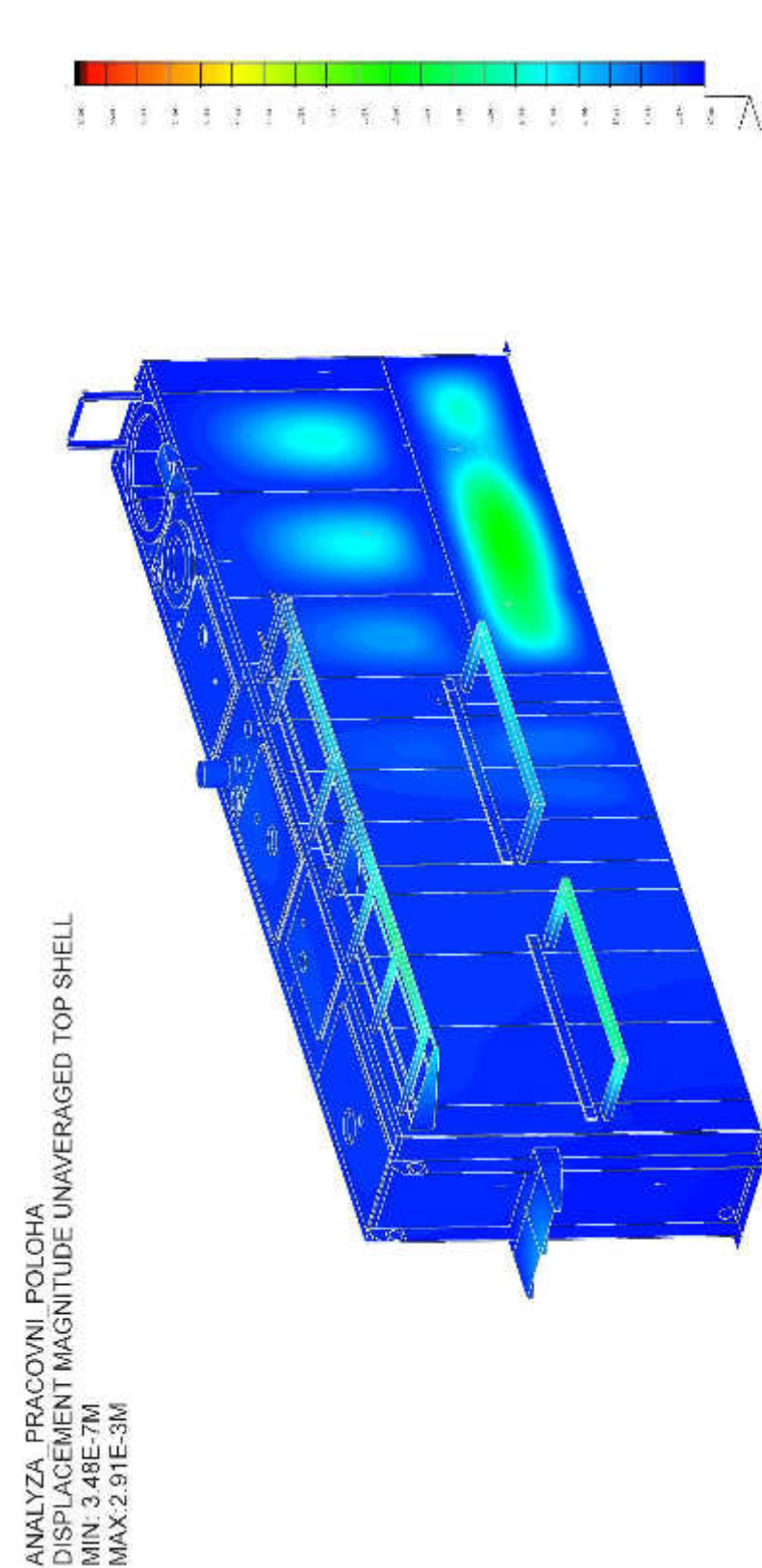


ANALYZA ZVEDANI
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 8.11E-6Pa
MAX: 8.30E+7Pa

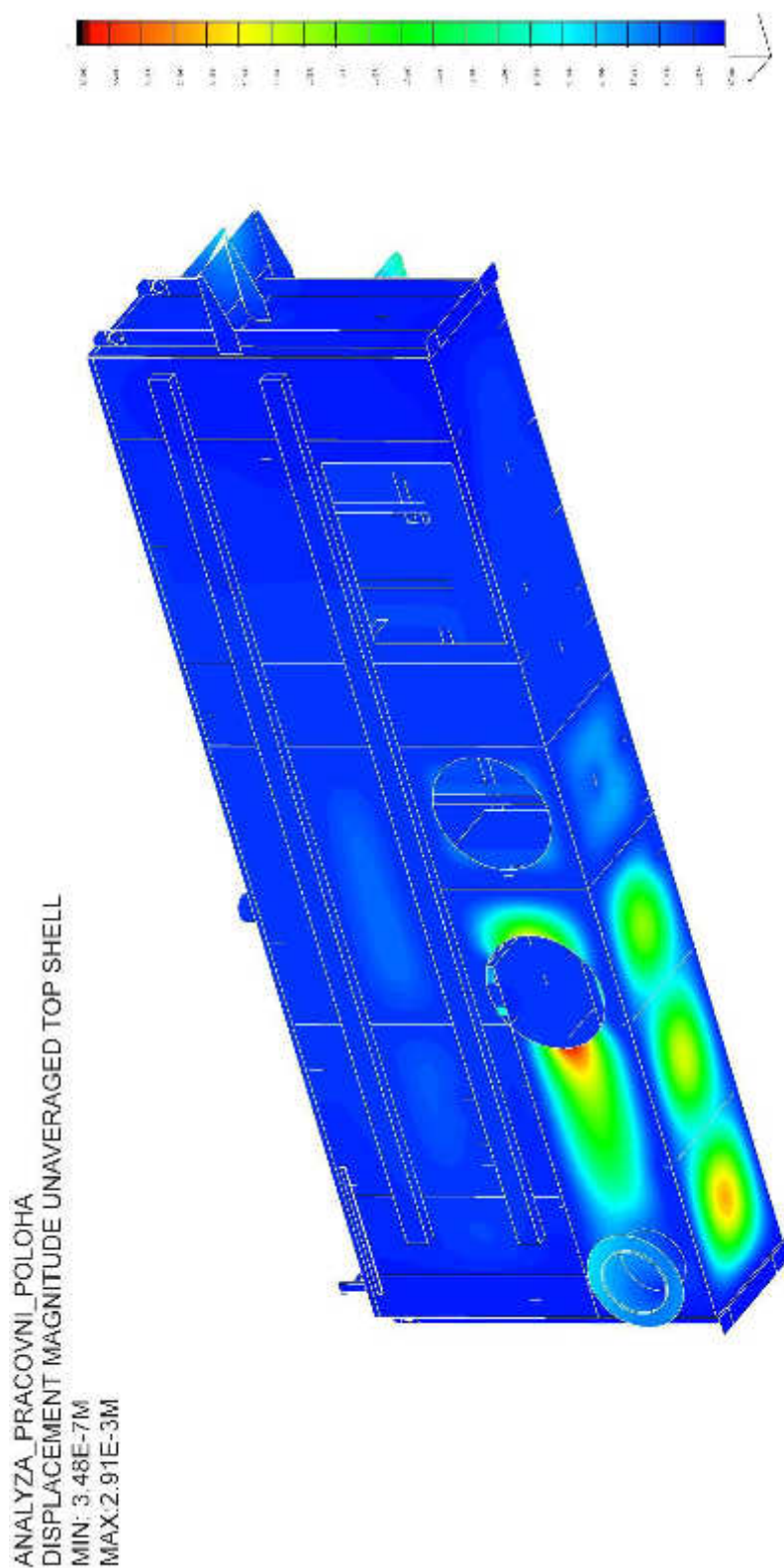
P39 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm



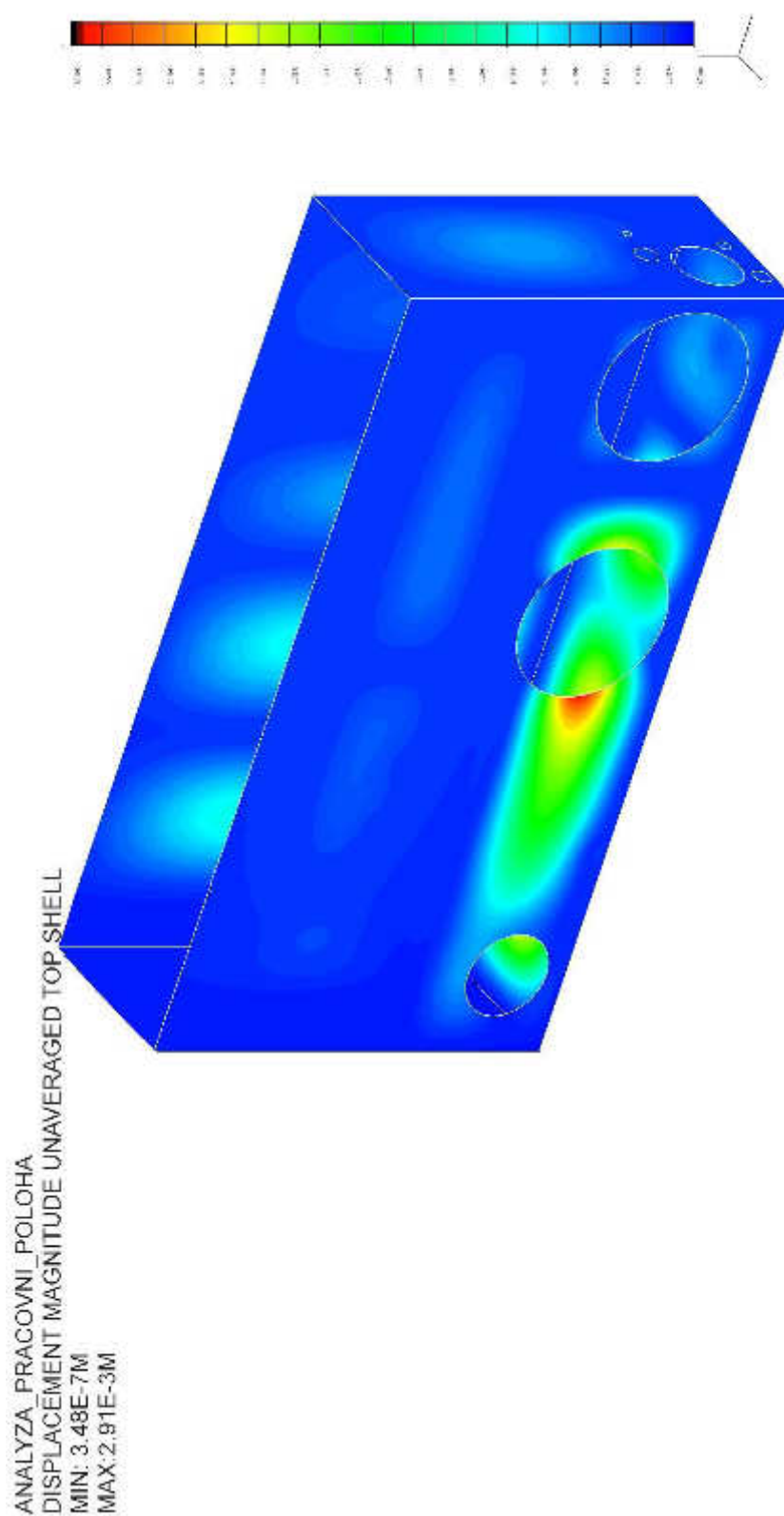
P40 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm



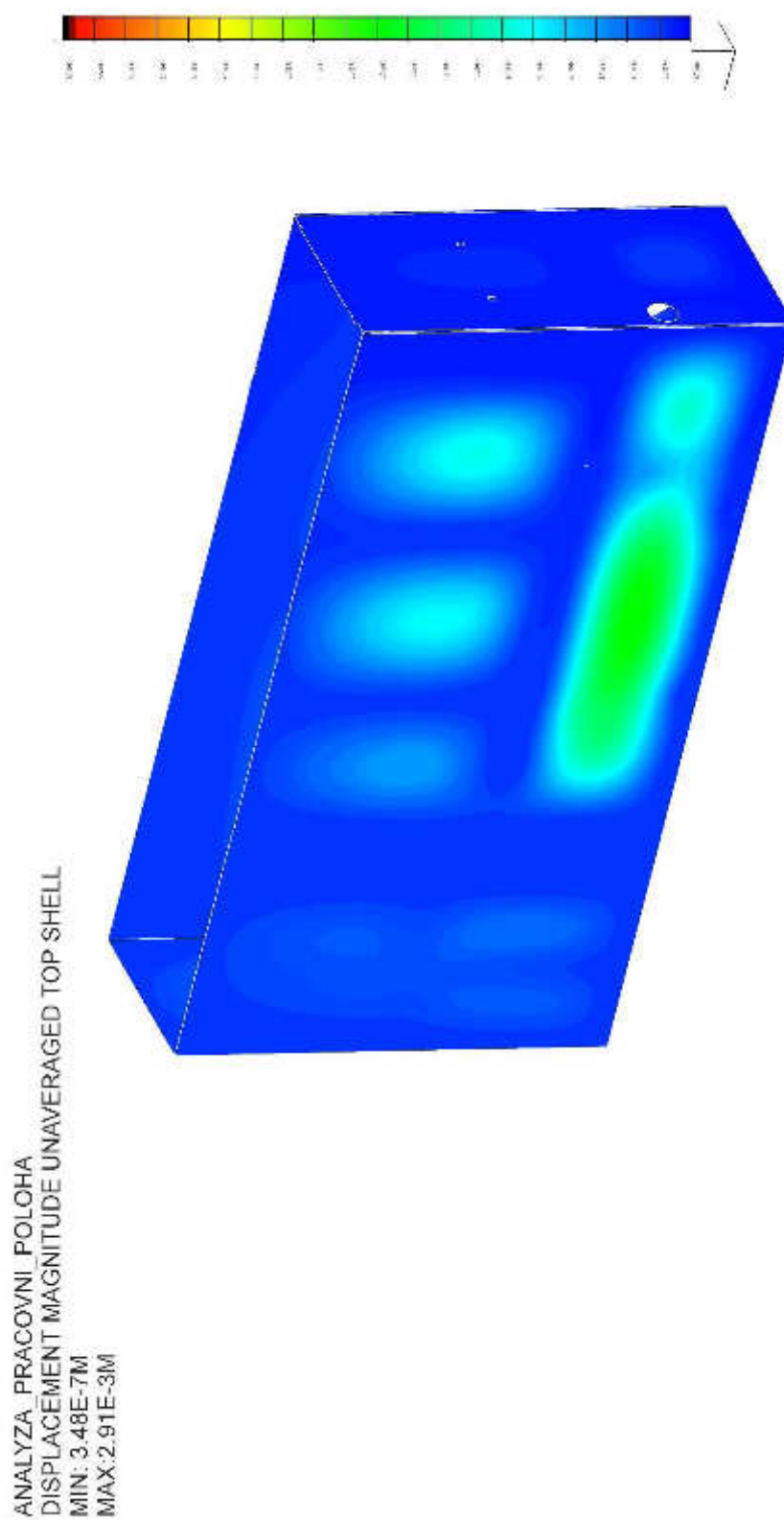
P41 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm



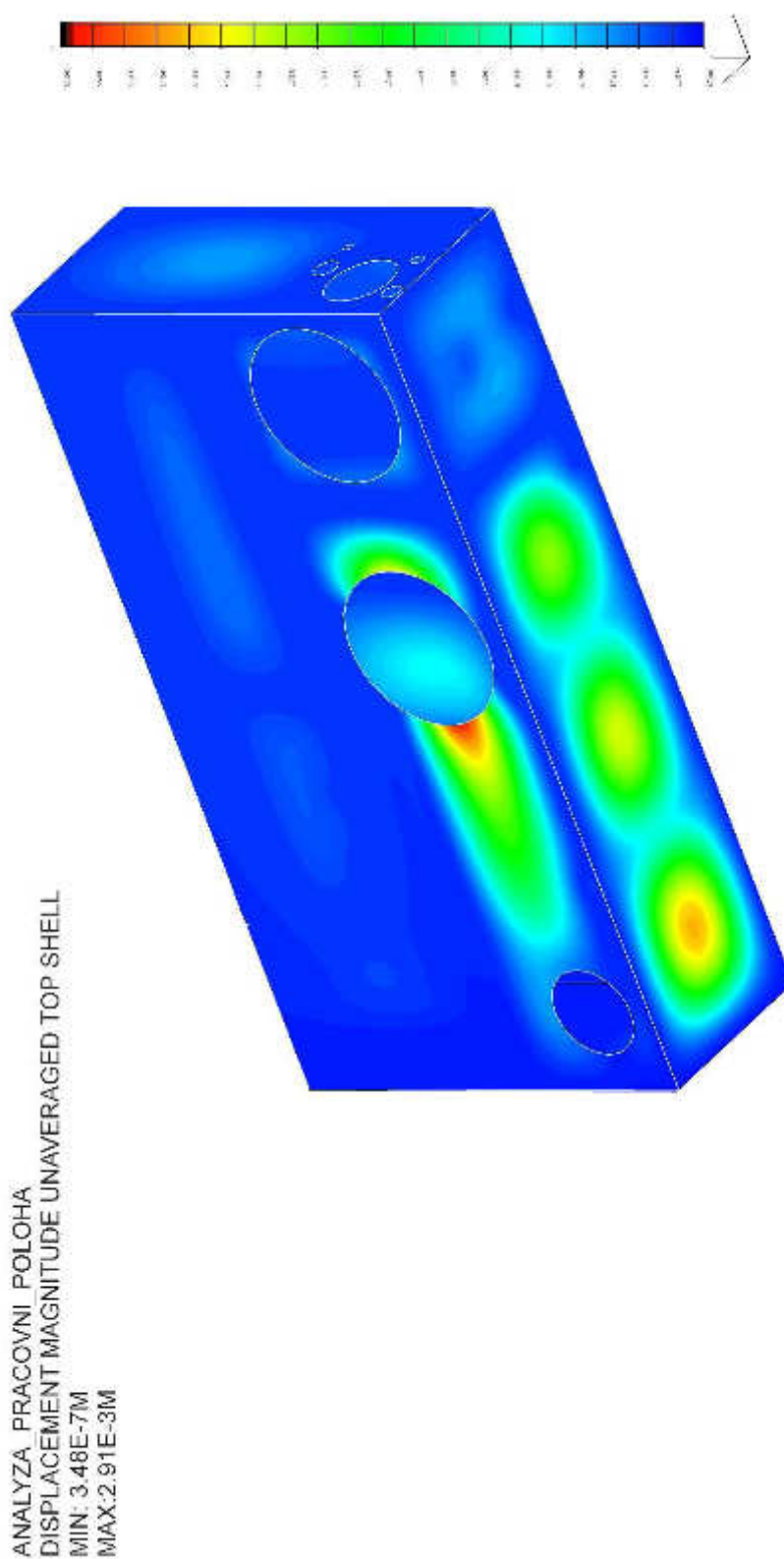
P42 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm



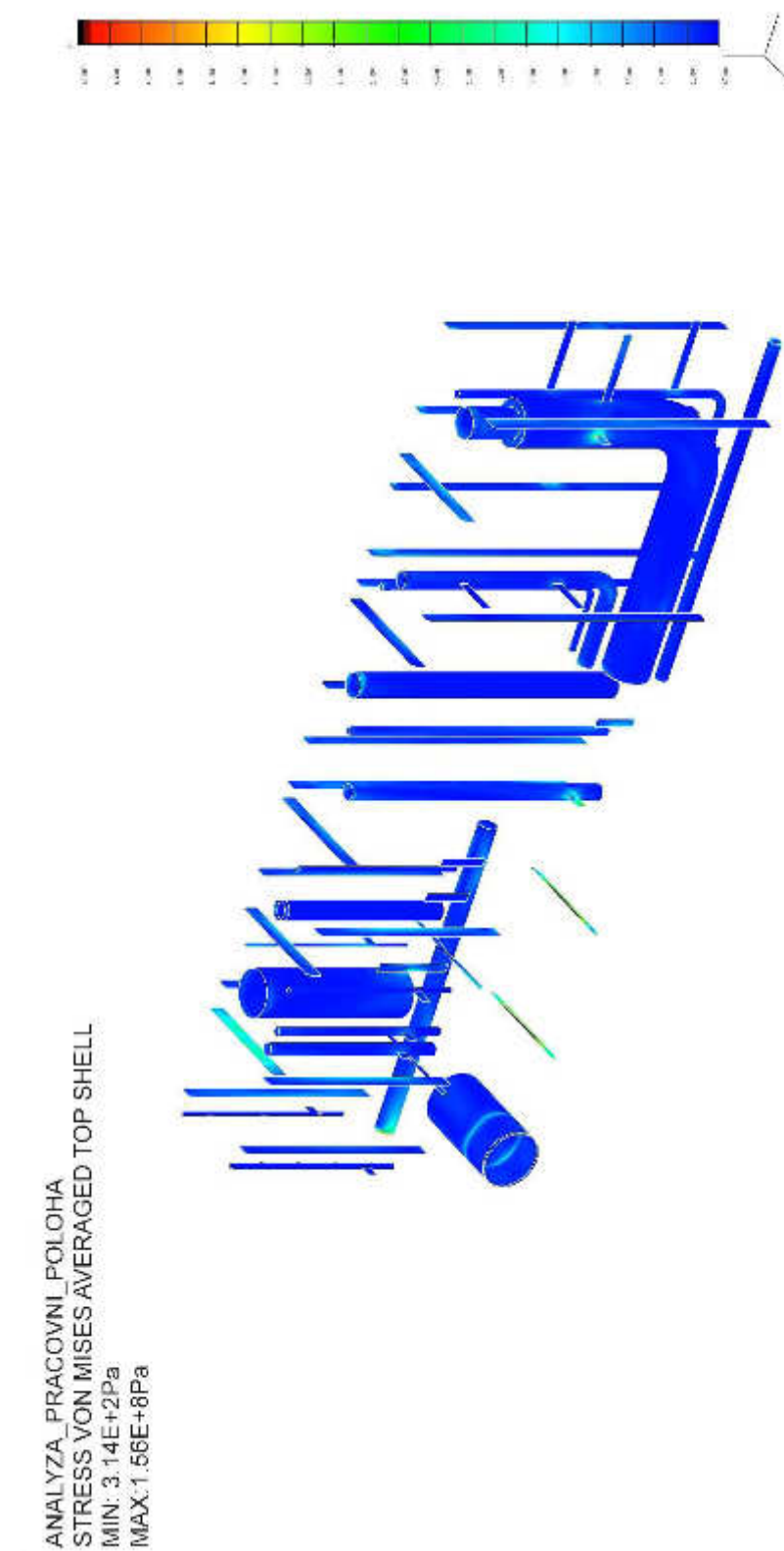
P43 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm



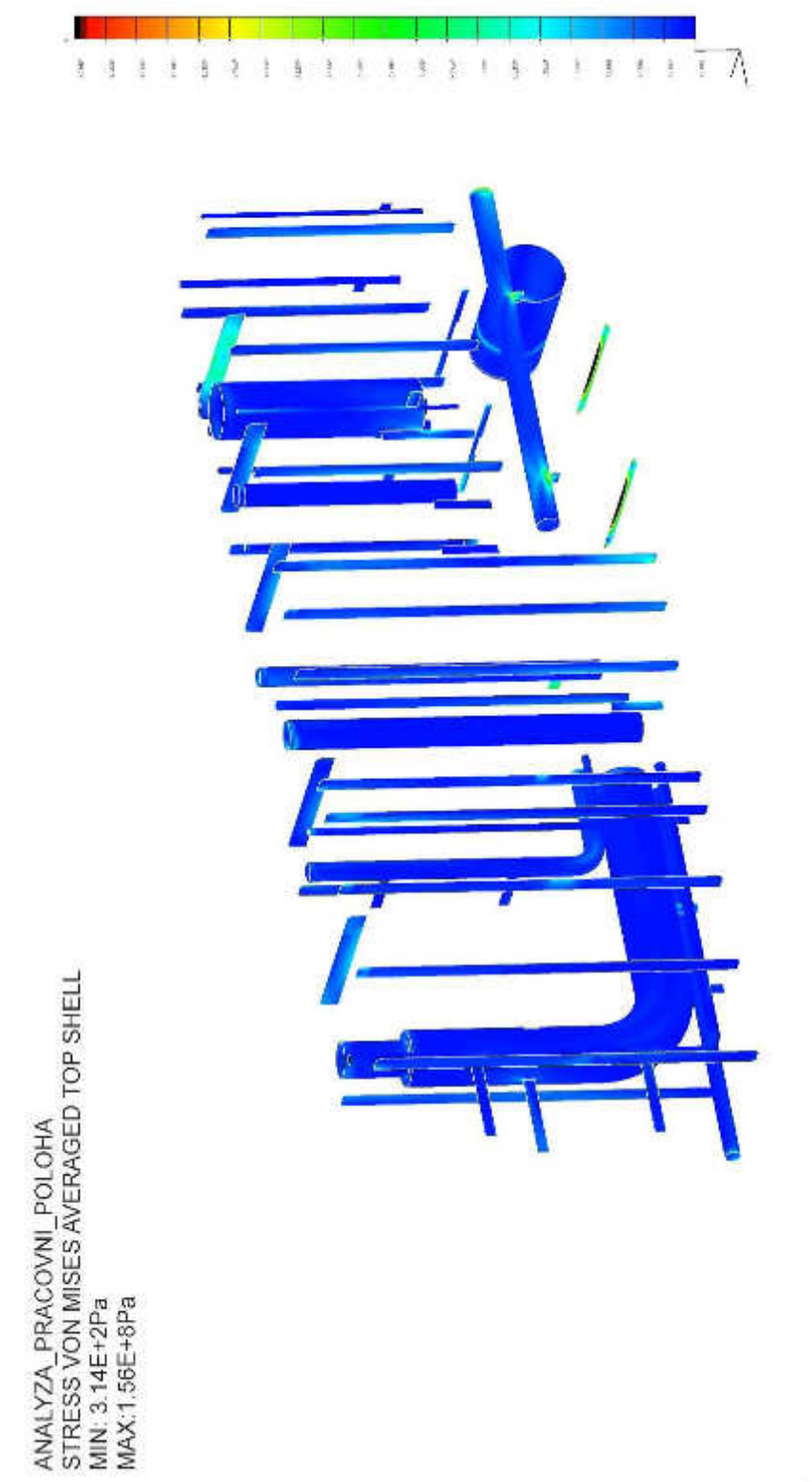
P44 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,91mm



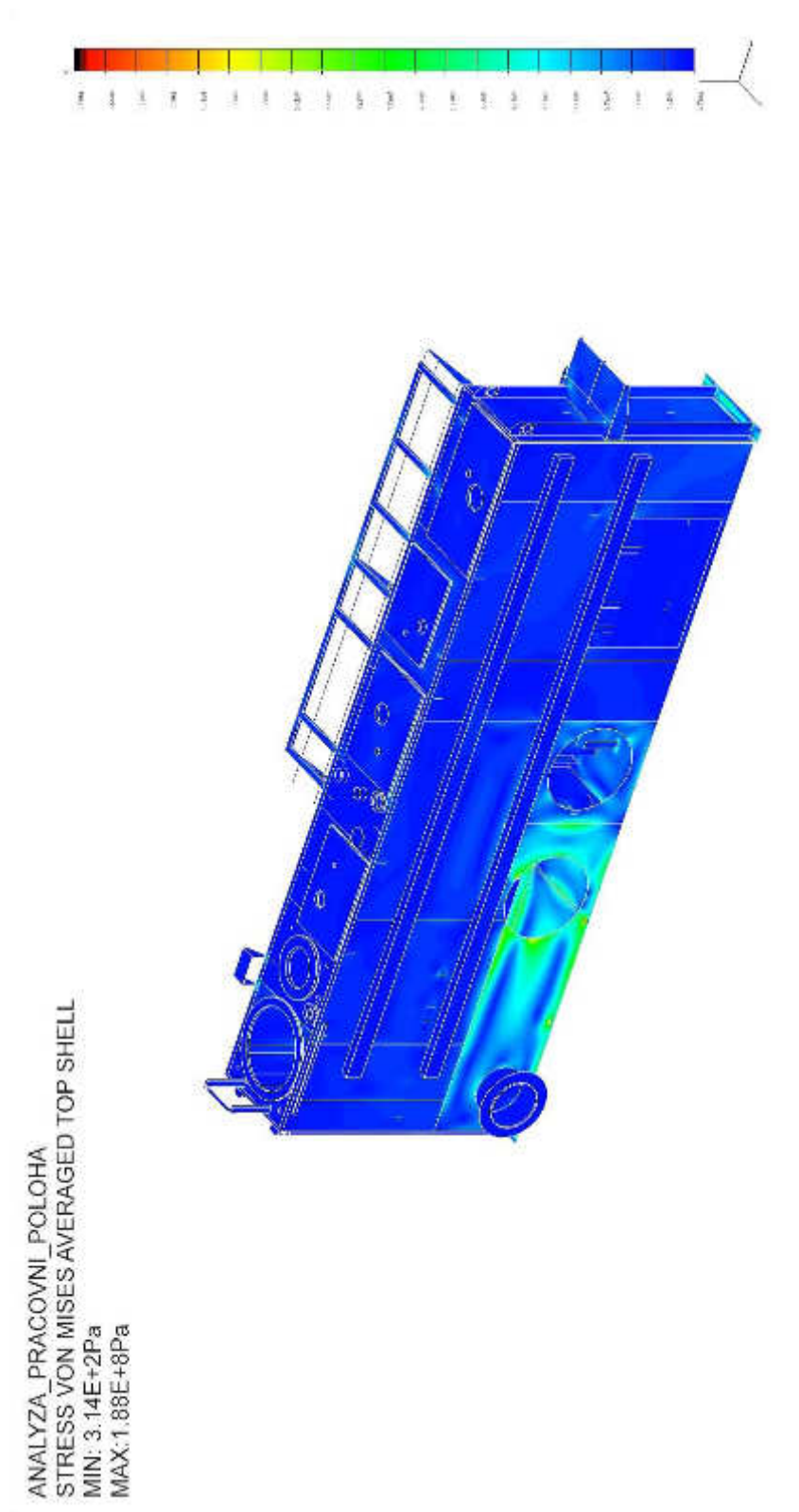
P45 Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 156MPa



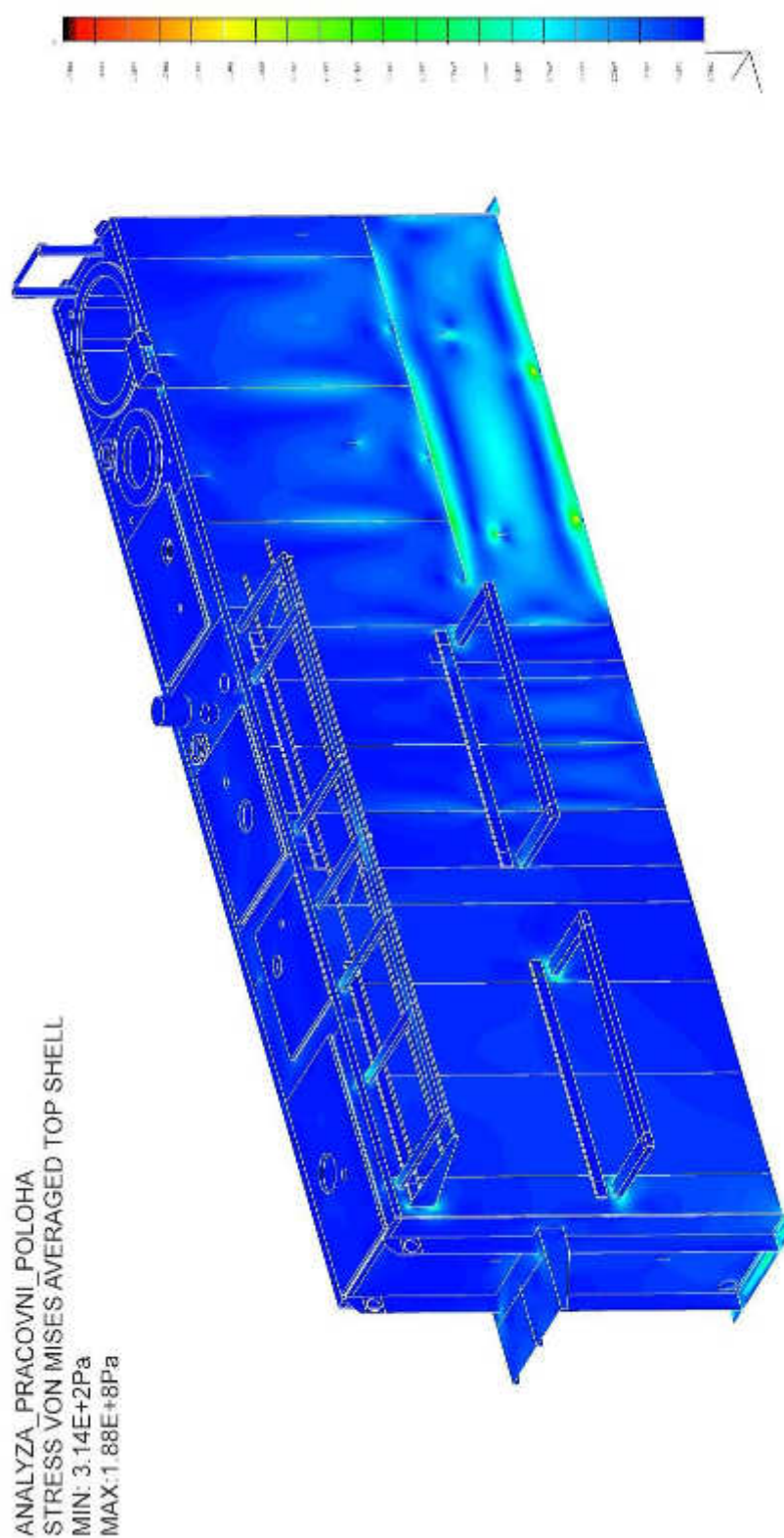
P46 Nádrž – trubky, žebra, upevnění trubek – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 156MPa



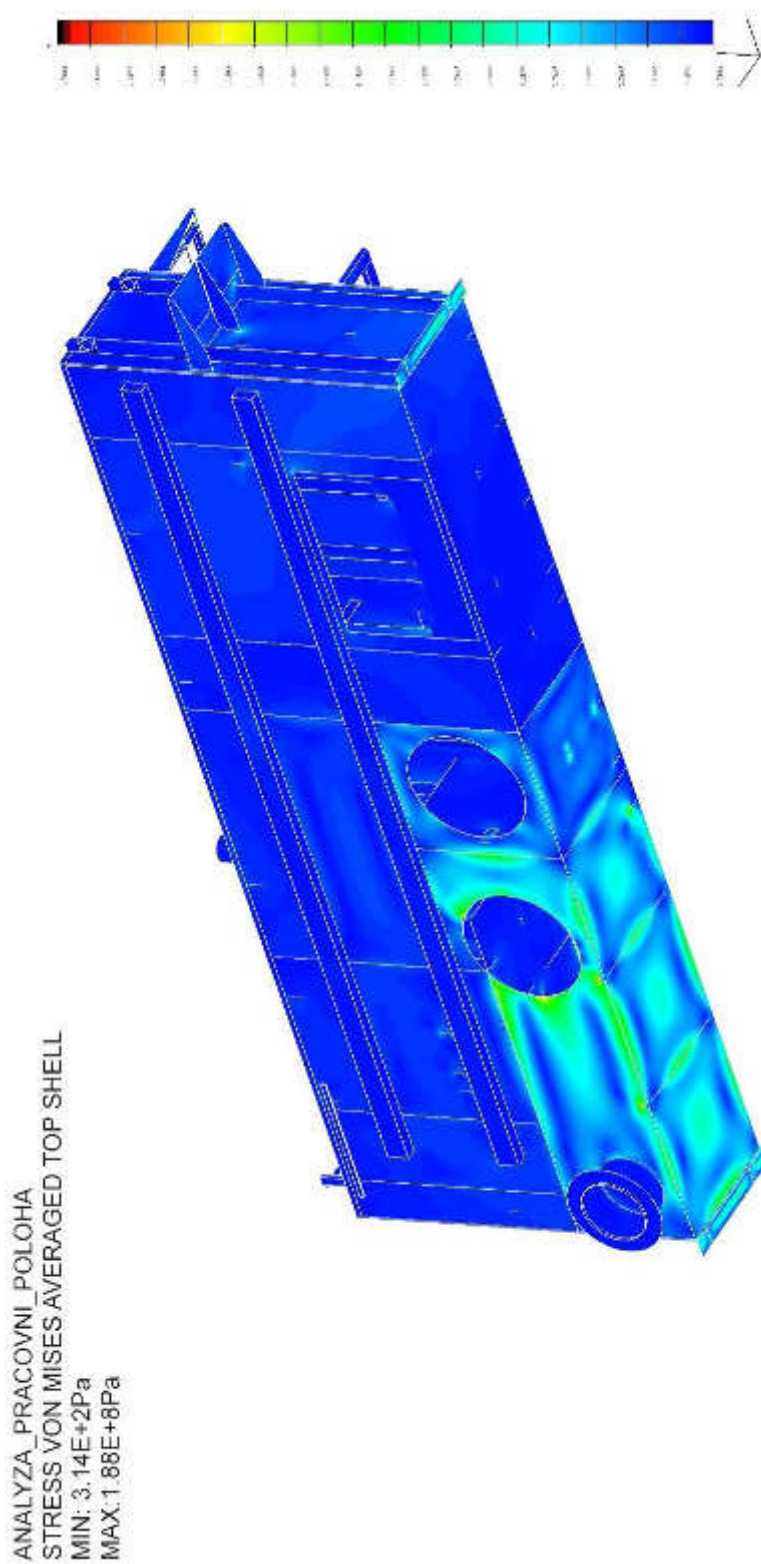
P47 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa



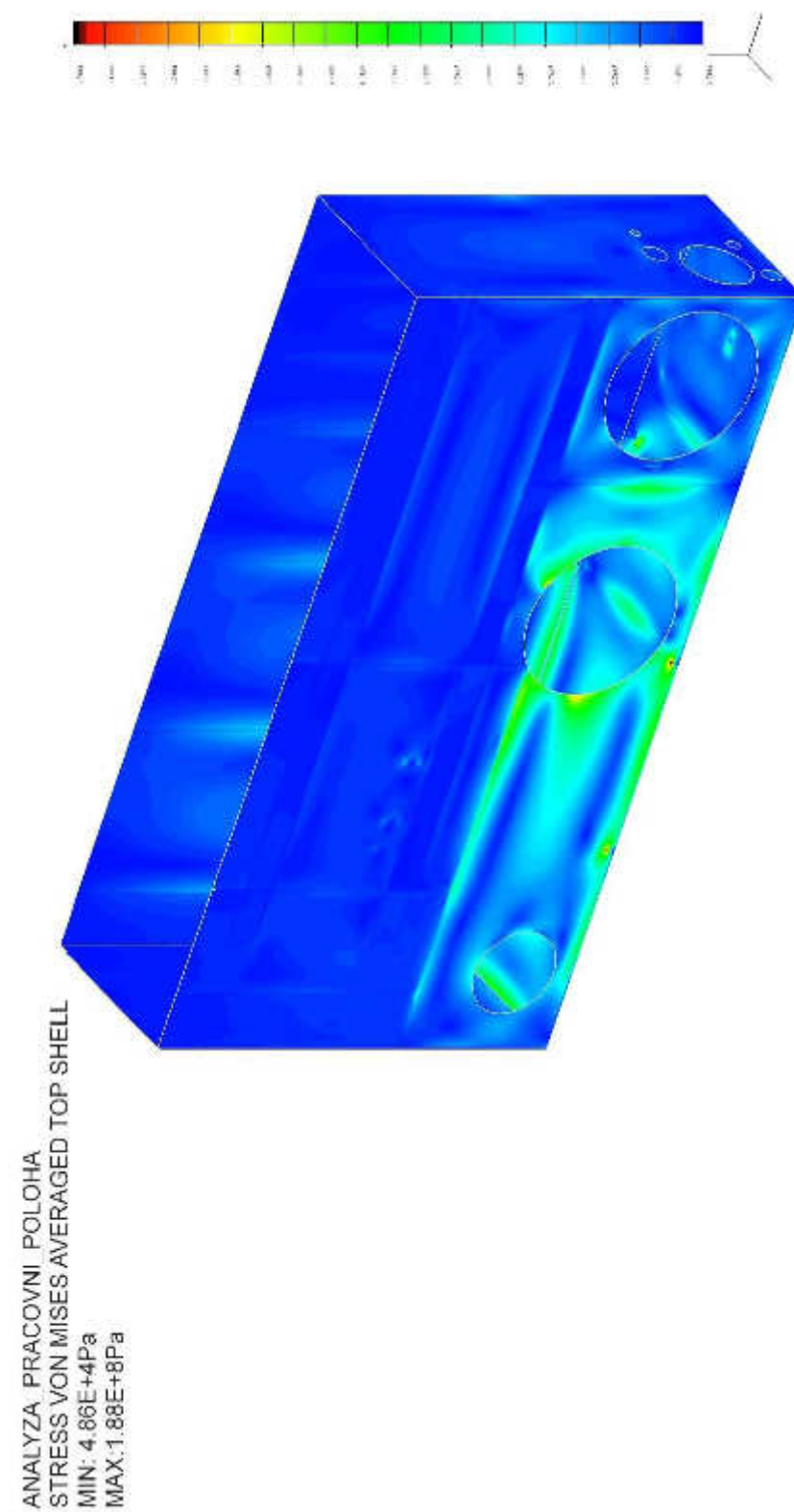
P48 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa



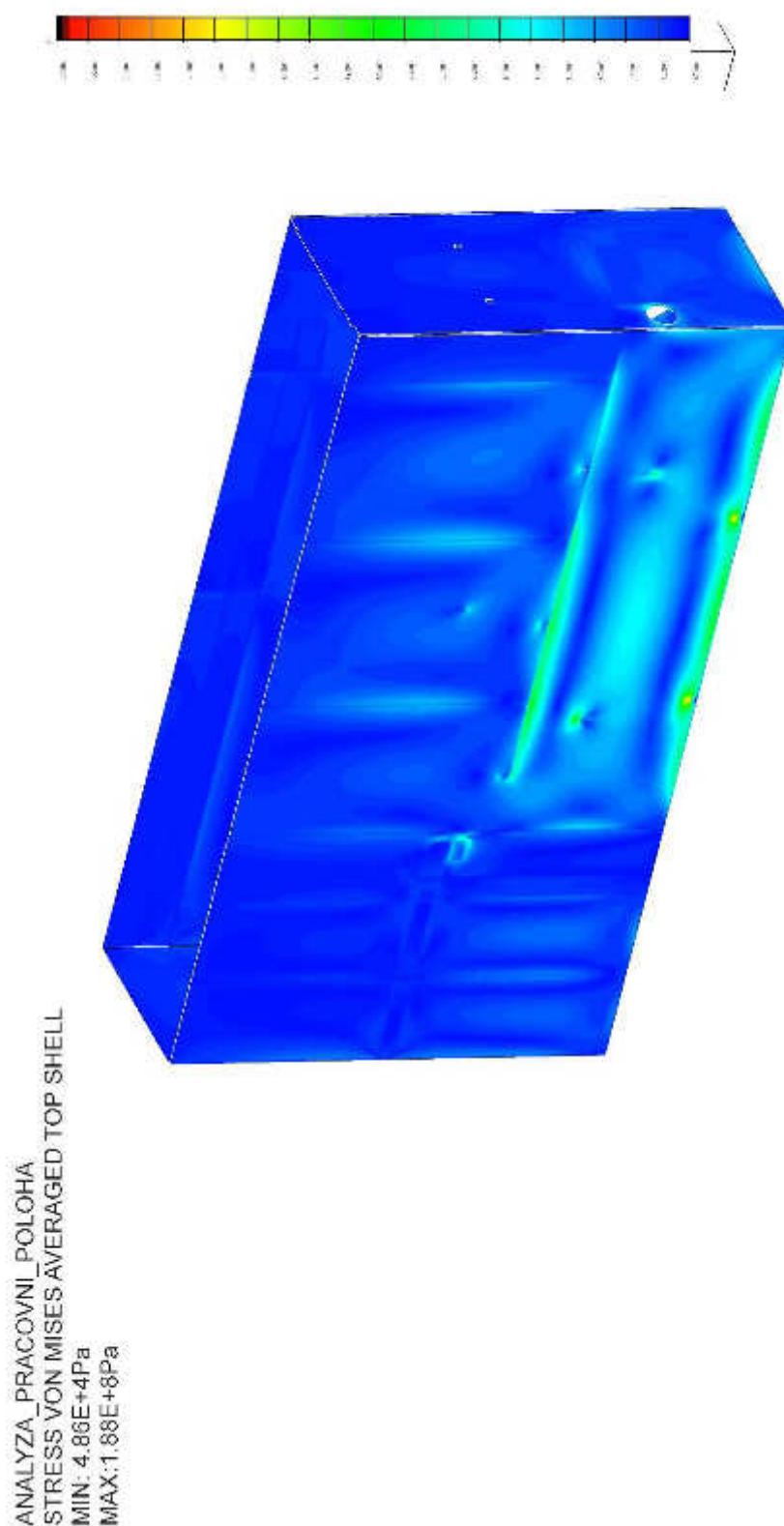
P49 Nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa



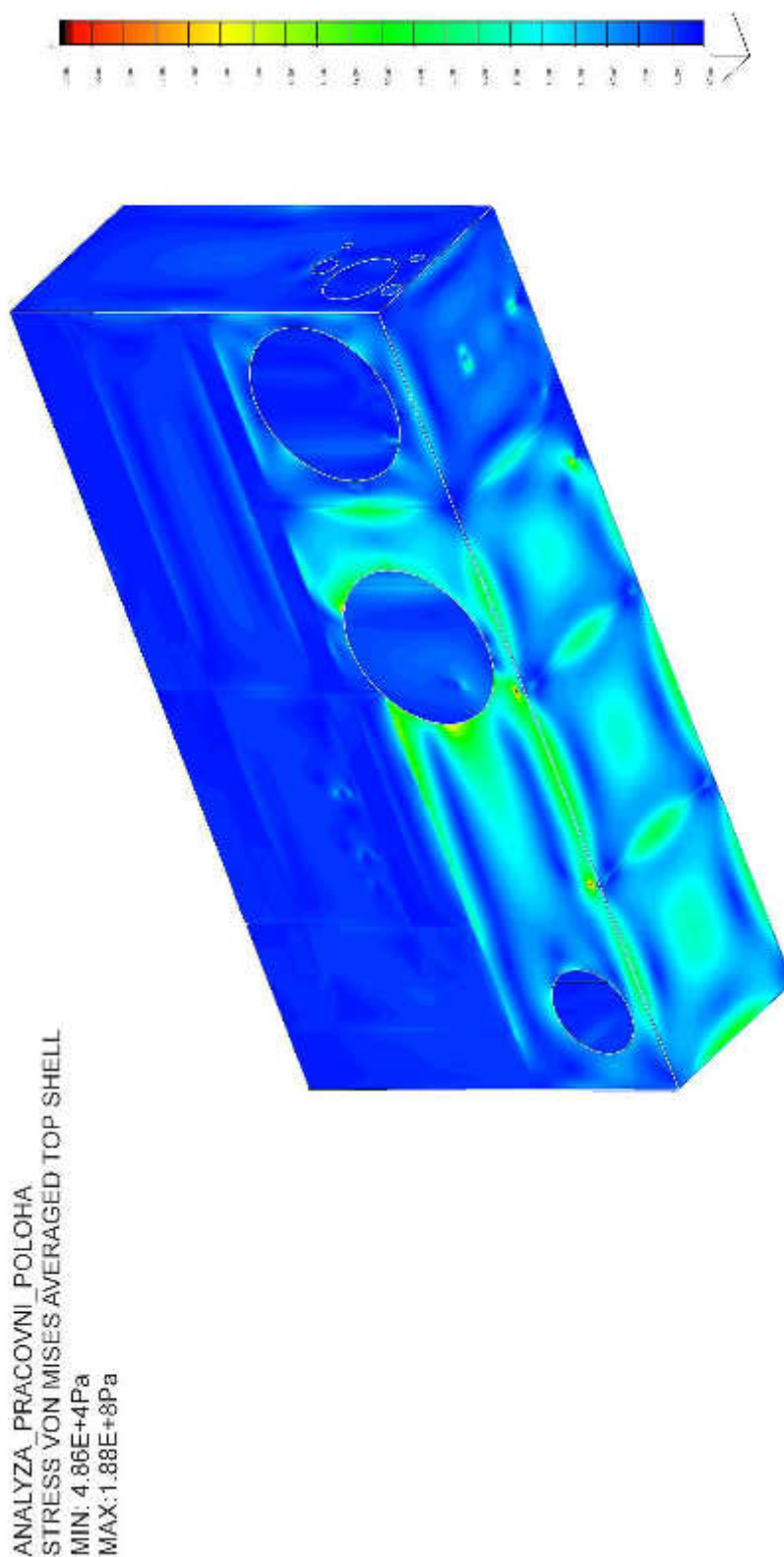
P50 Nádrž –olejová část – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa



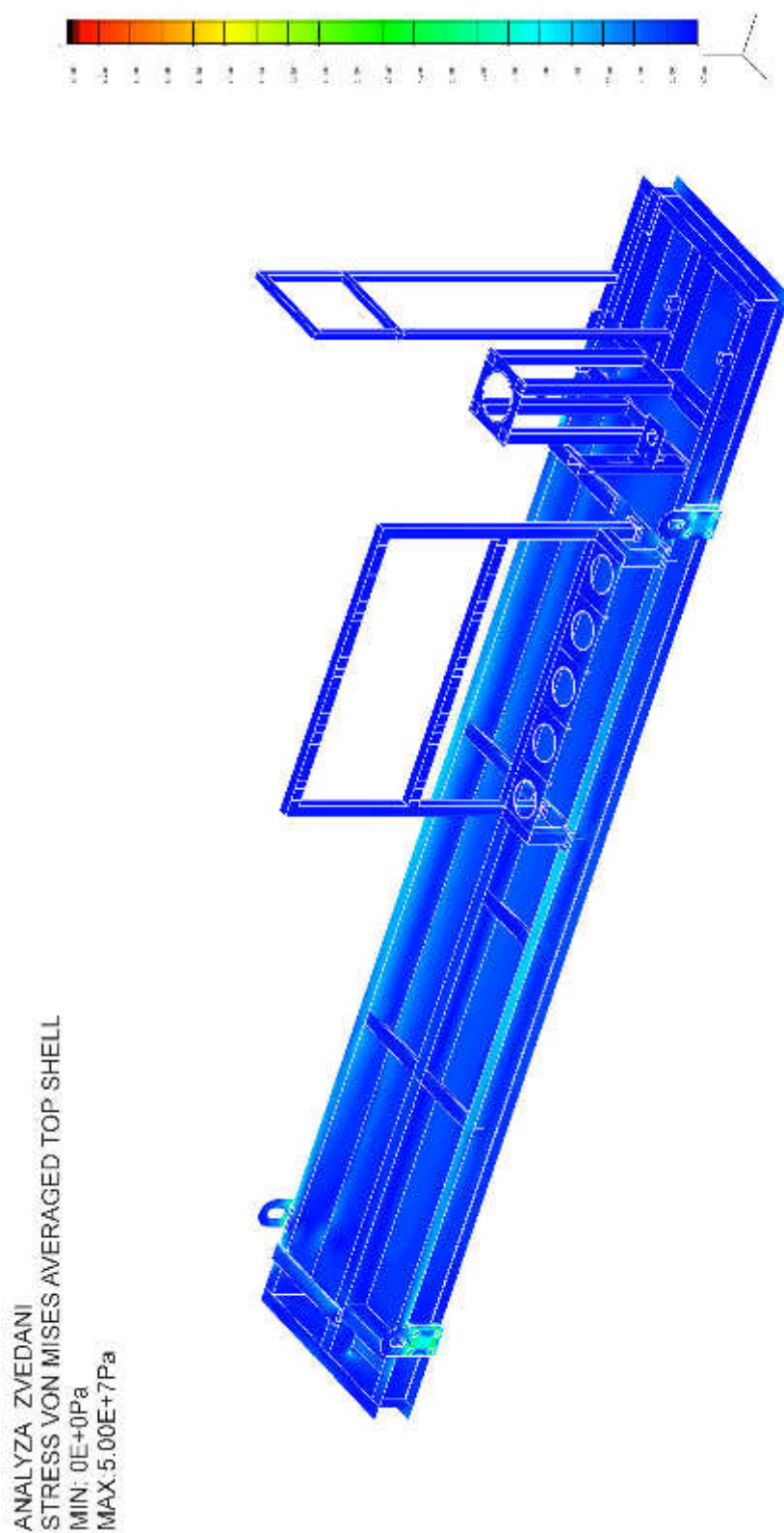
P51 Nádrž – olejová část – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa



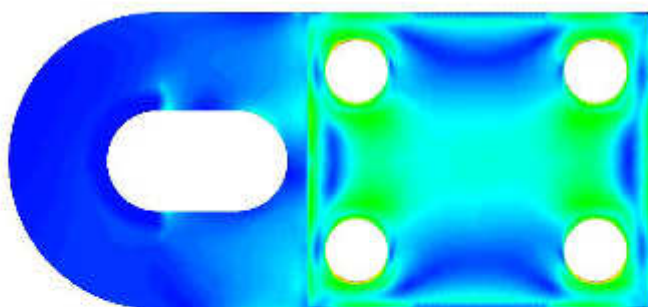
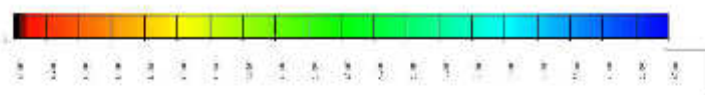
P52 Nádrž – olejová část – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 188MPa



P53 Rám nádrže – zvedání; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 50MPa

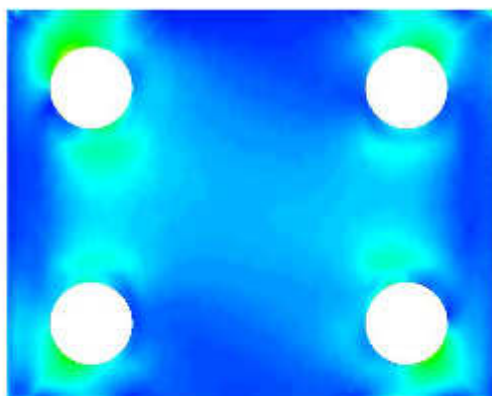


P54 Rám nádrže – zvedací oko – zvedání; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 50MPa



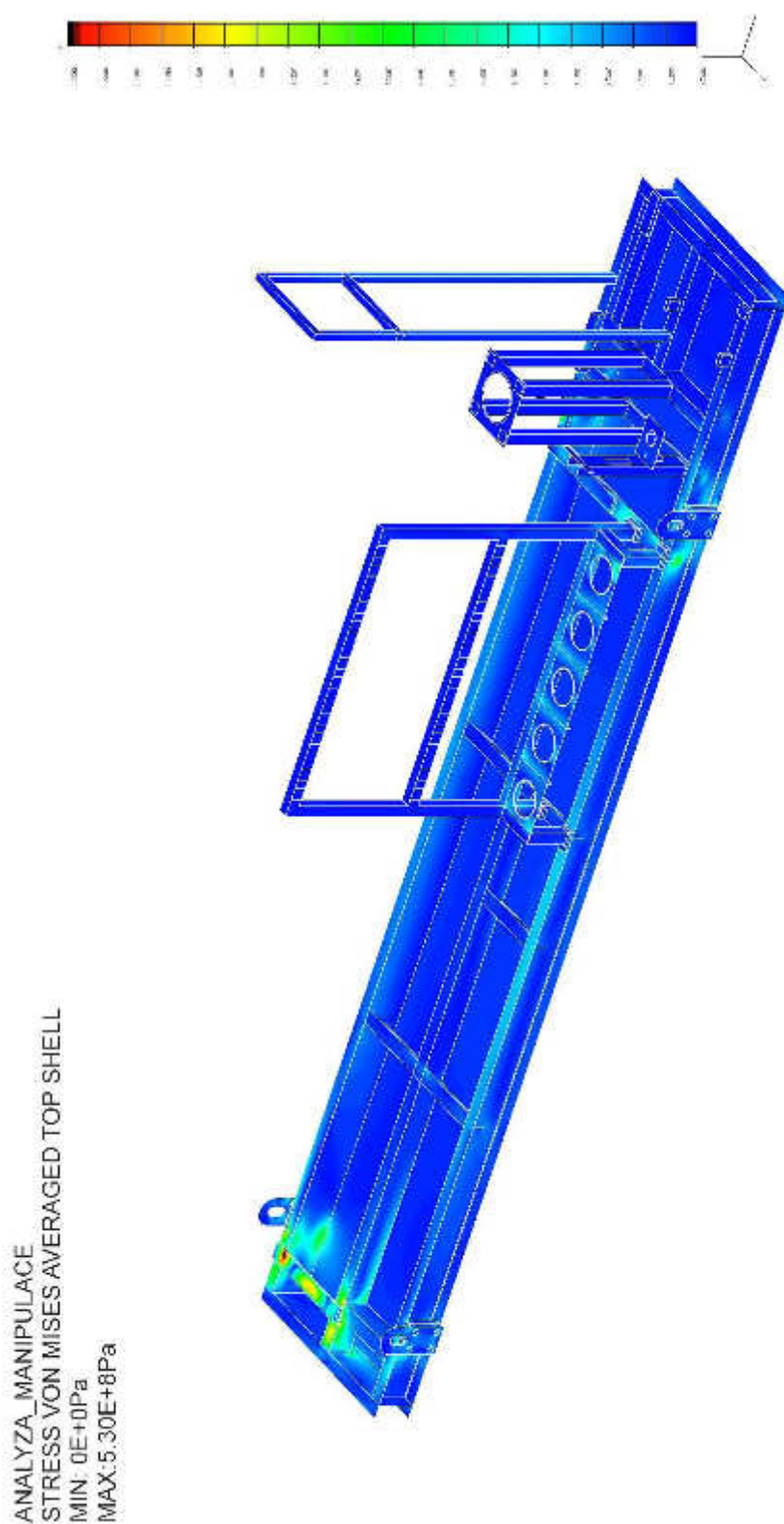
ANALYZA_ZVEDANI
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 2.08E-5Pa
MAX: 5.00E+7Pa

P55 Rám nádrže – deska – zvedání; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-50MPa; max. napětí 46,9MPa

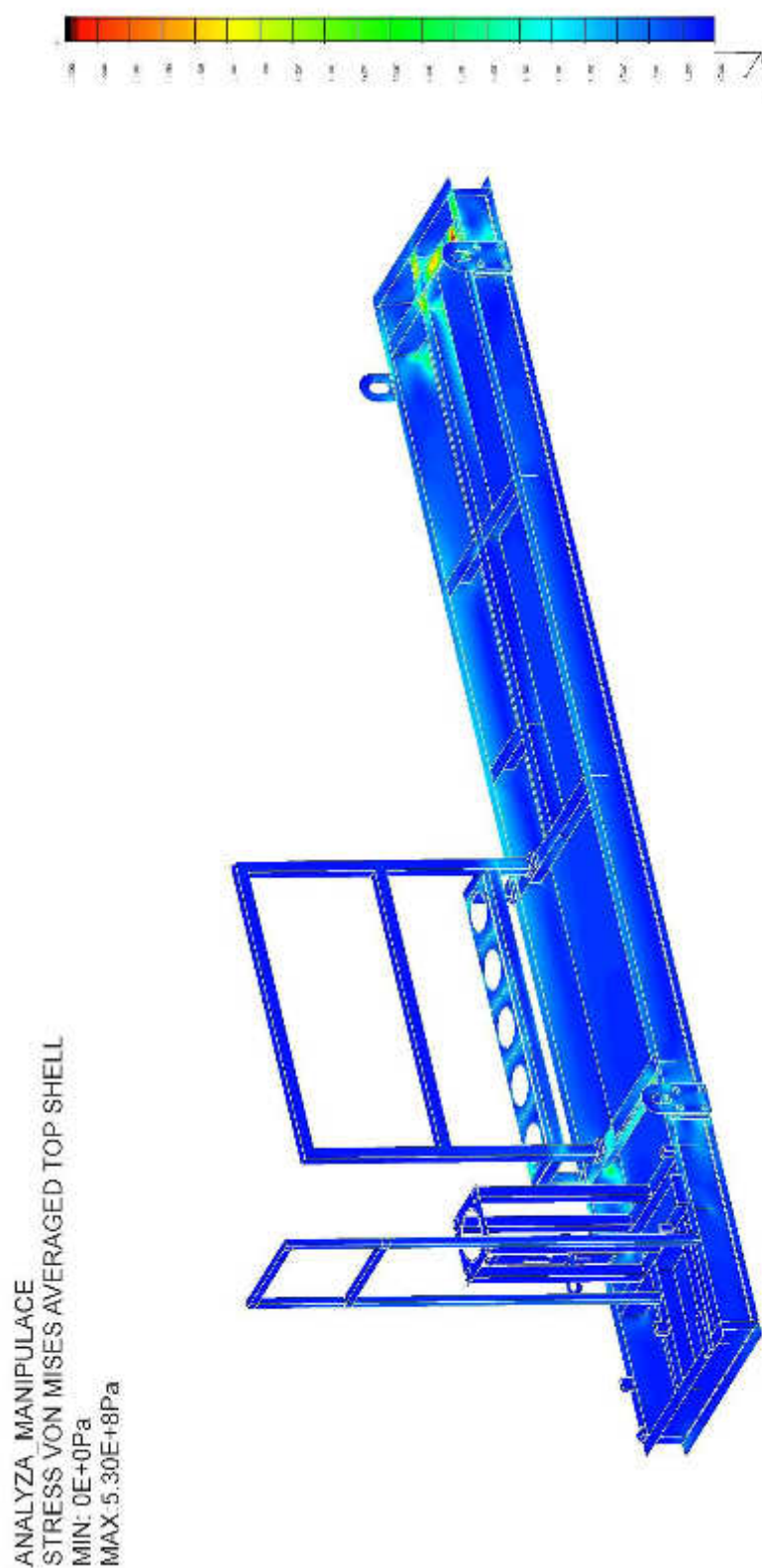


ANALYZA_ZVEDANI
STRESS_VON_MISES_AVERAGED_TOP_SHELL
MIN: 2.90E+5Pa
MAX: 4.69E+7Pa

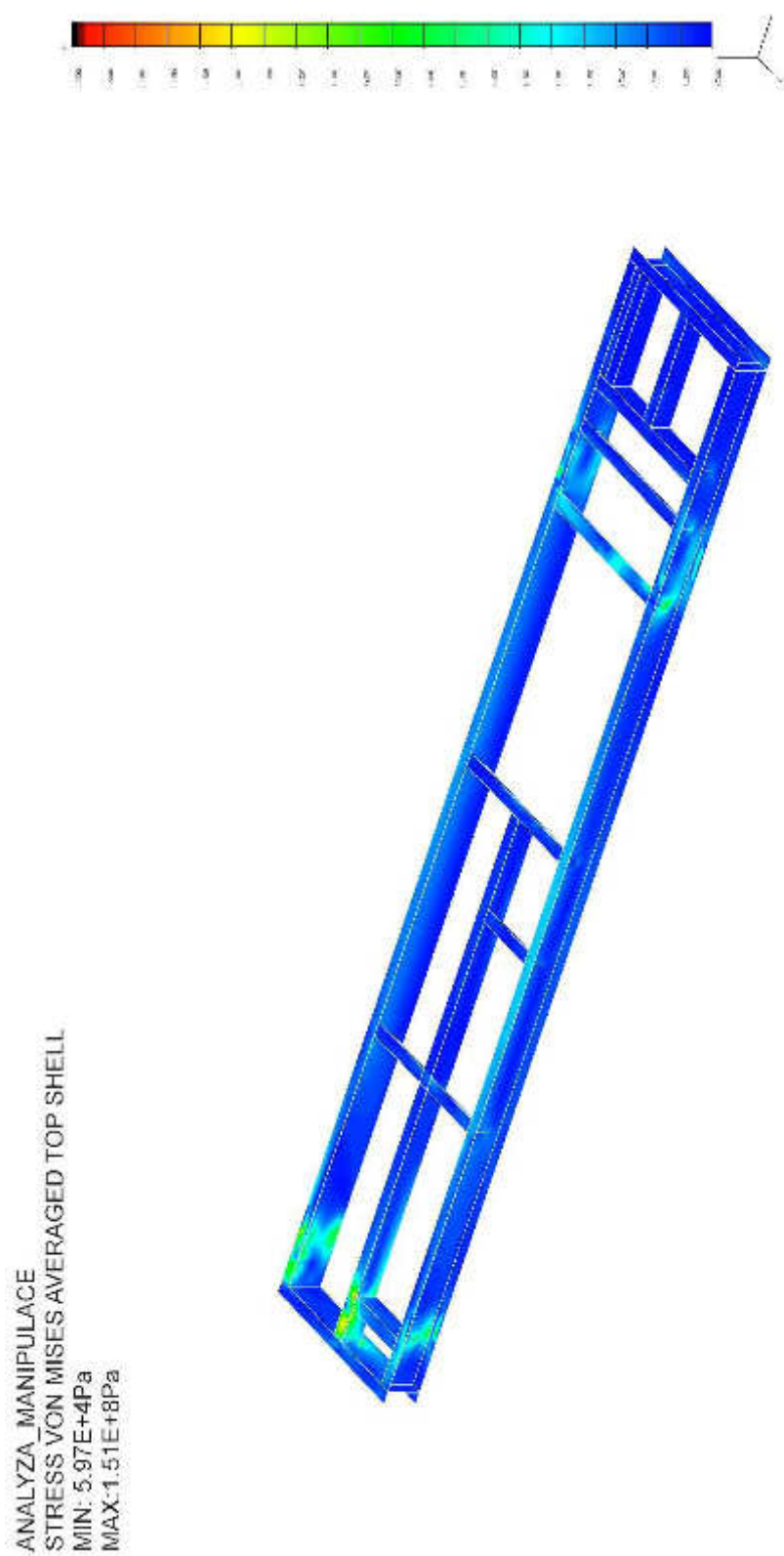
P56 Rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 530MPa



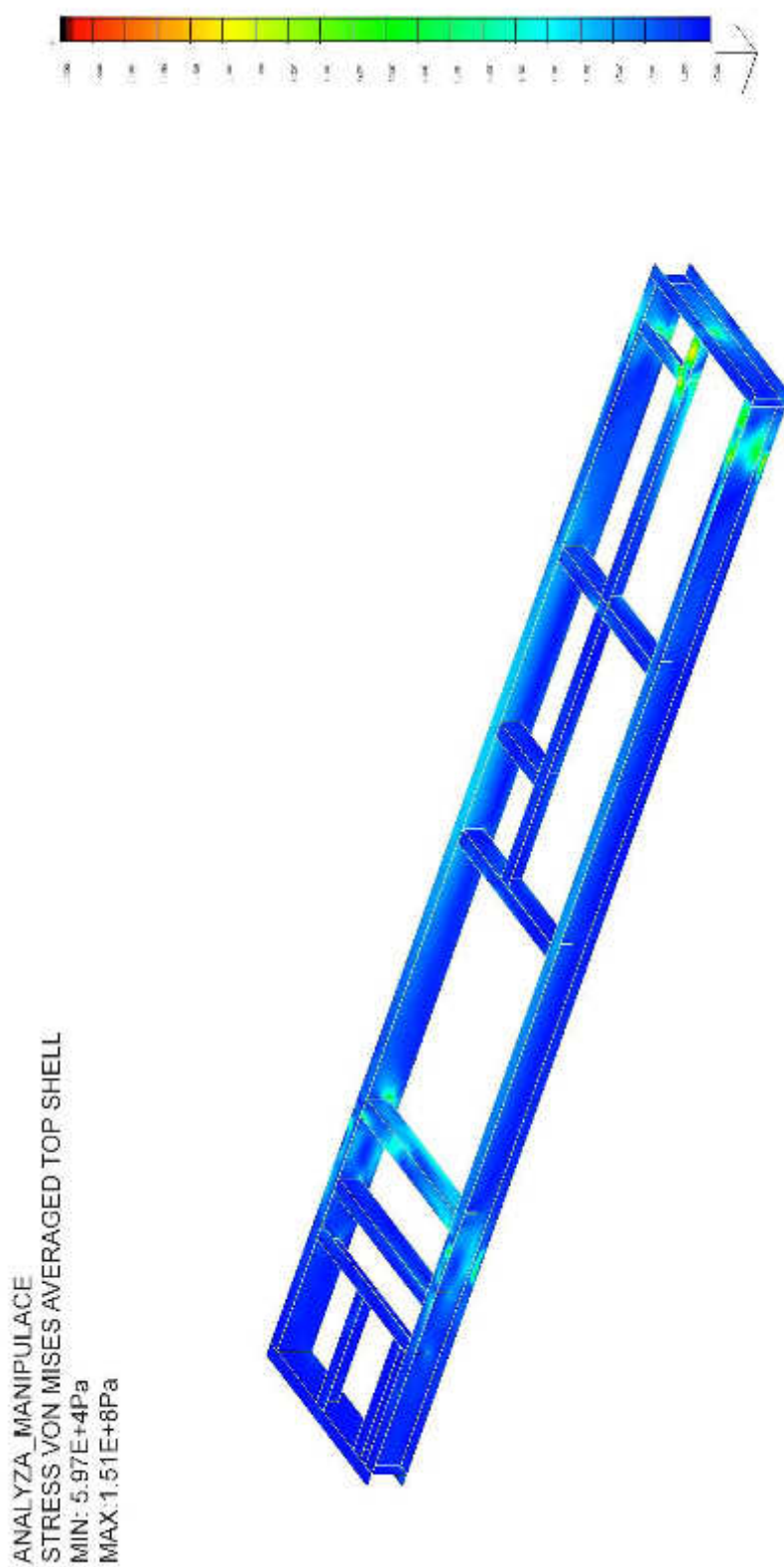
P57 Rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell;
rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 530MPa



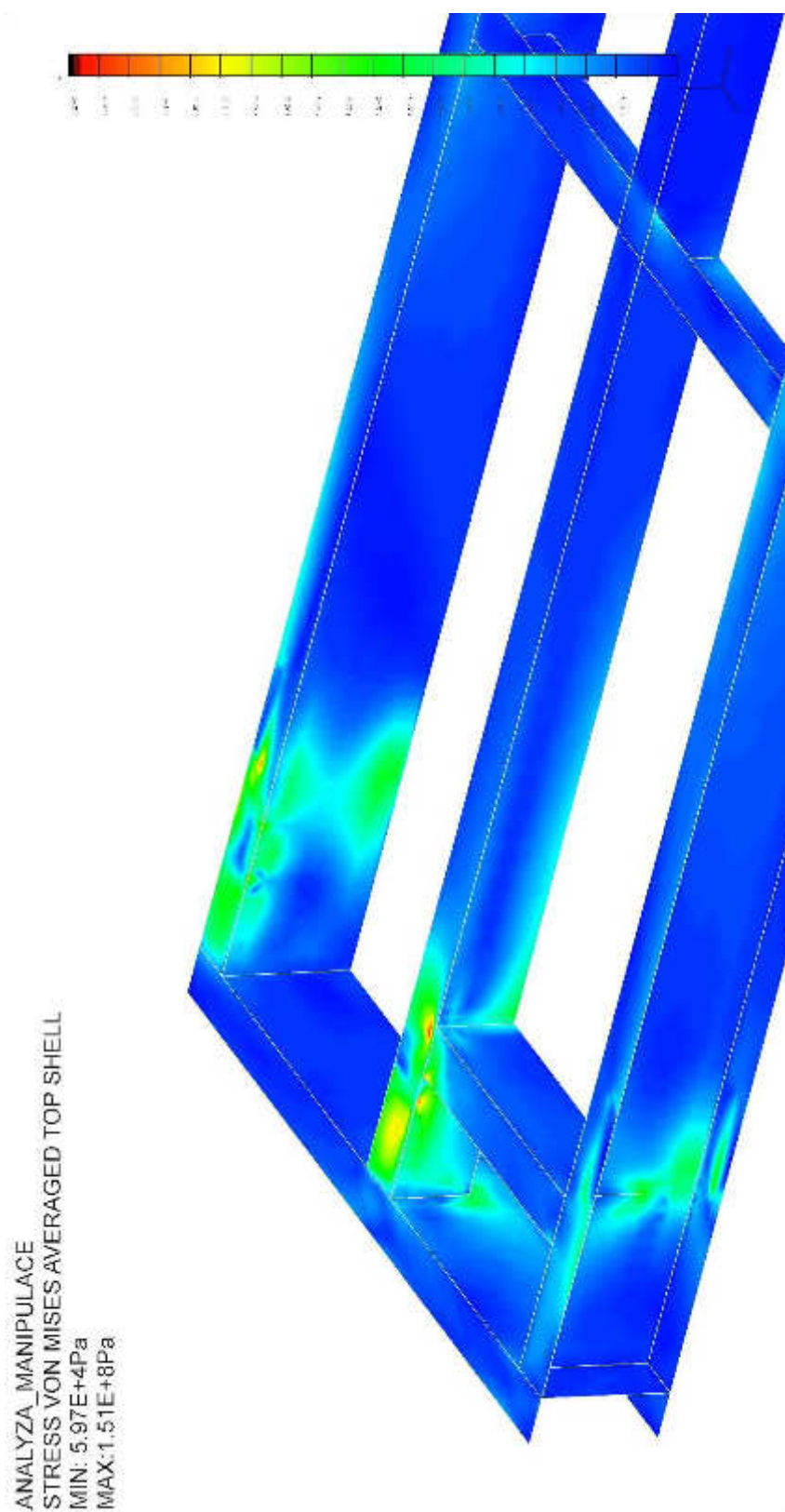
P58 Rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 151MPa



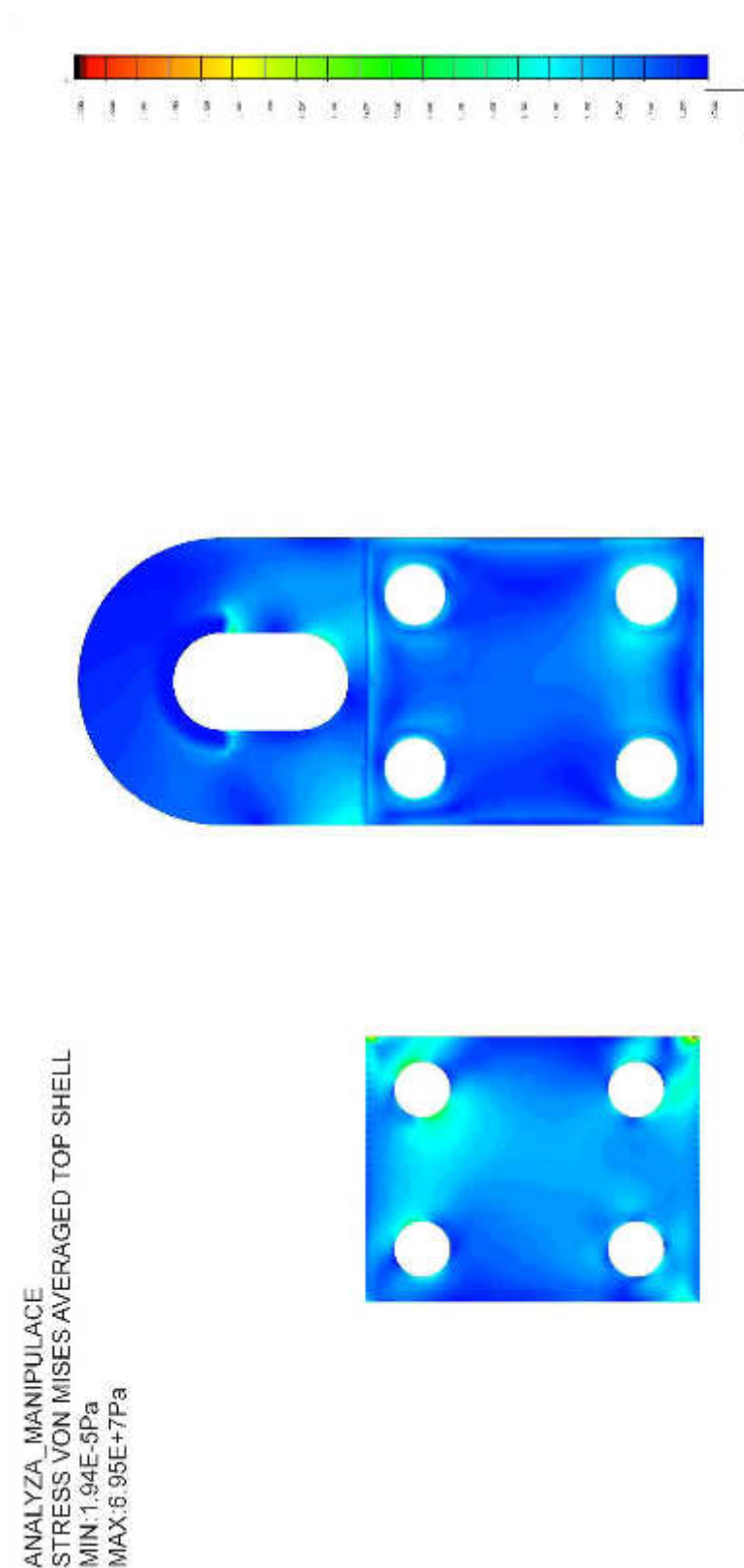
P59 Rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 151MPa



P60 Rám nádrže – pouze nosníky - detail – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 151MPa



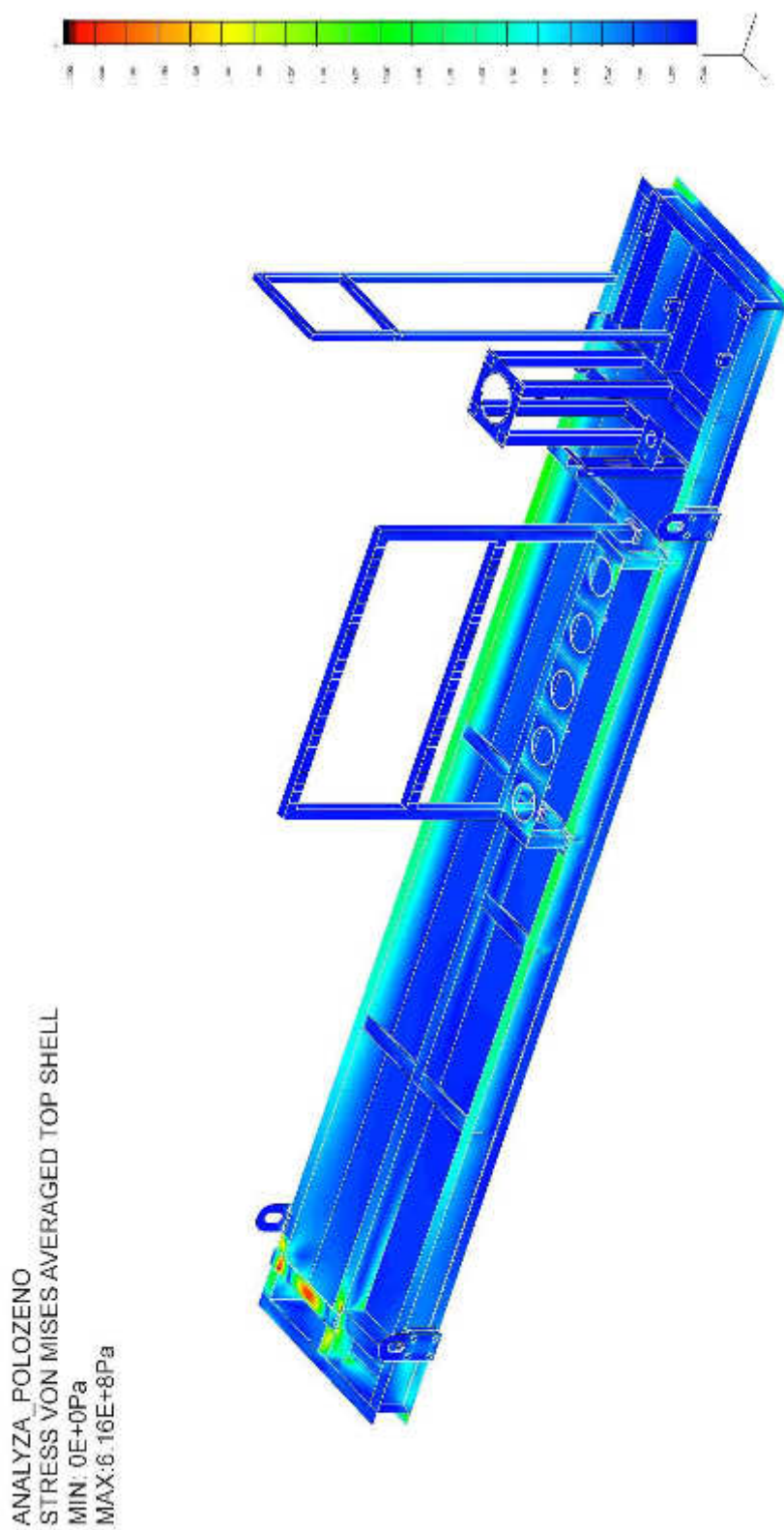
P61 Rám nádrže – zvedací oko a deska – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 69,5MPa



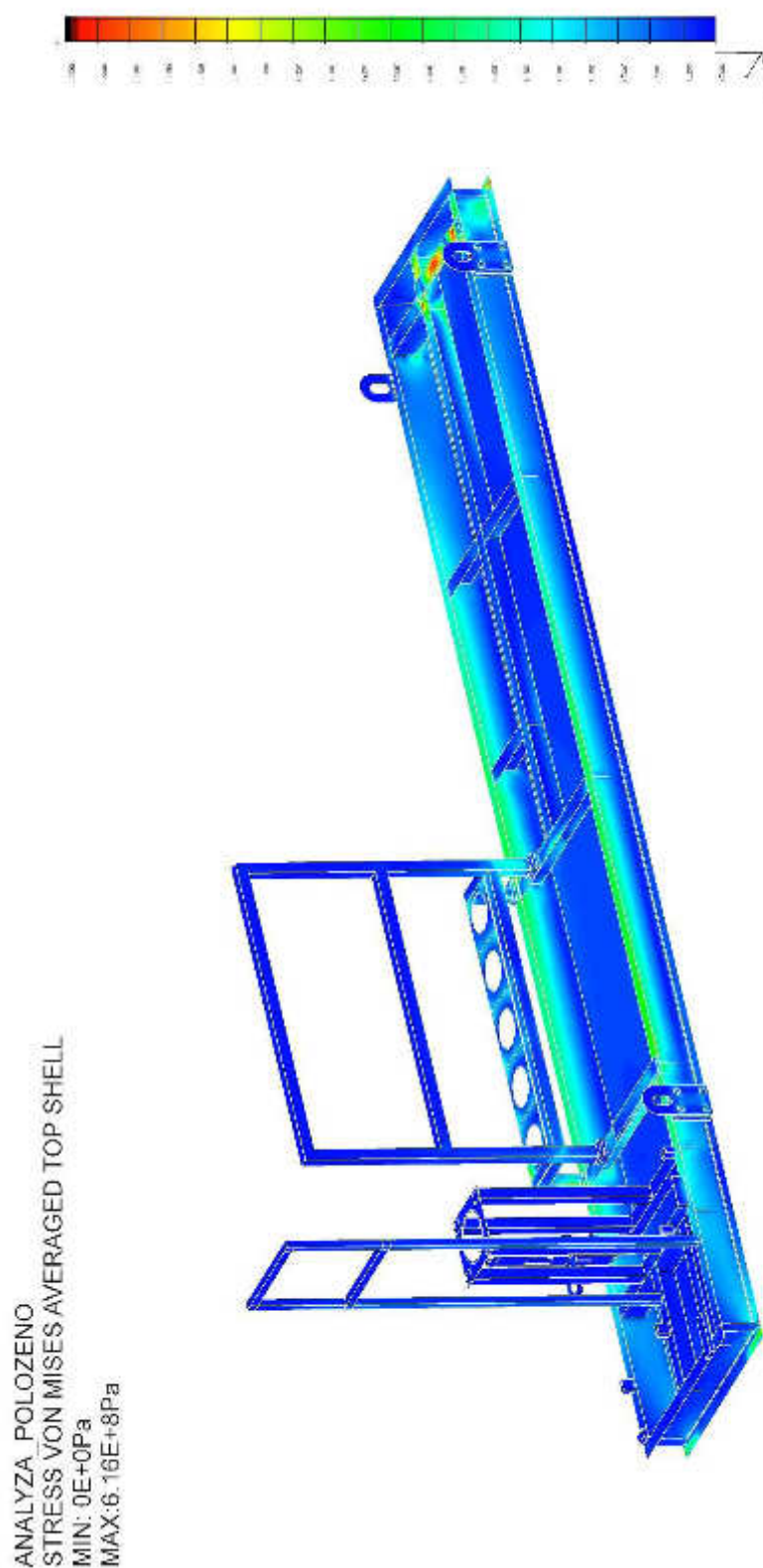
P62 Rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-8mm; max. deformace 7,14mm



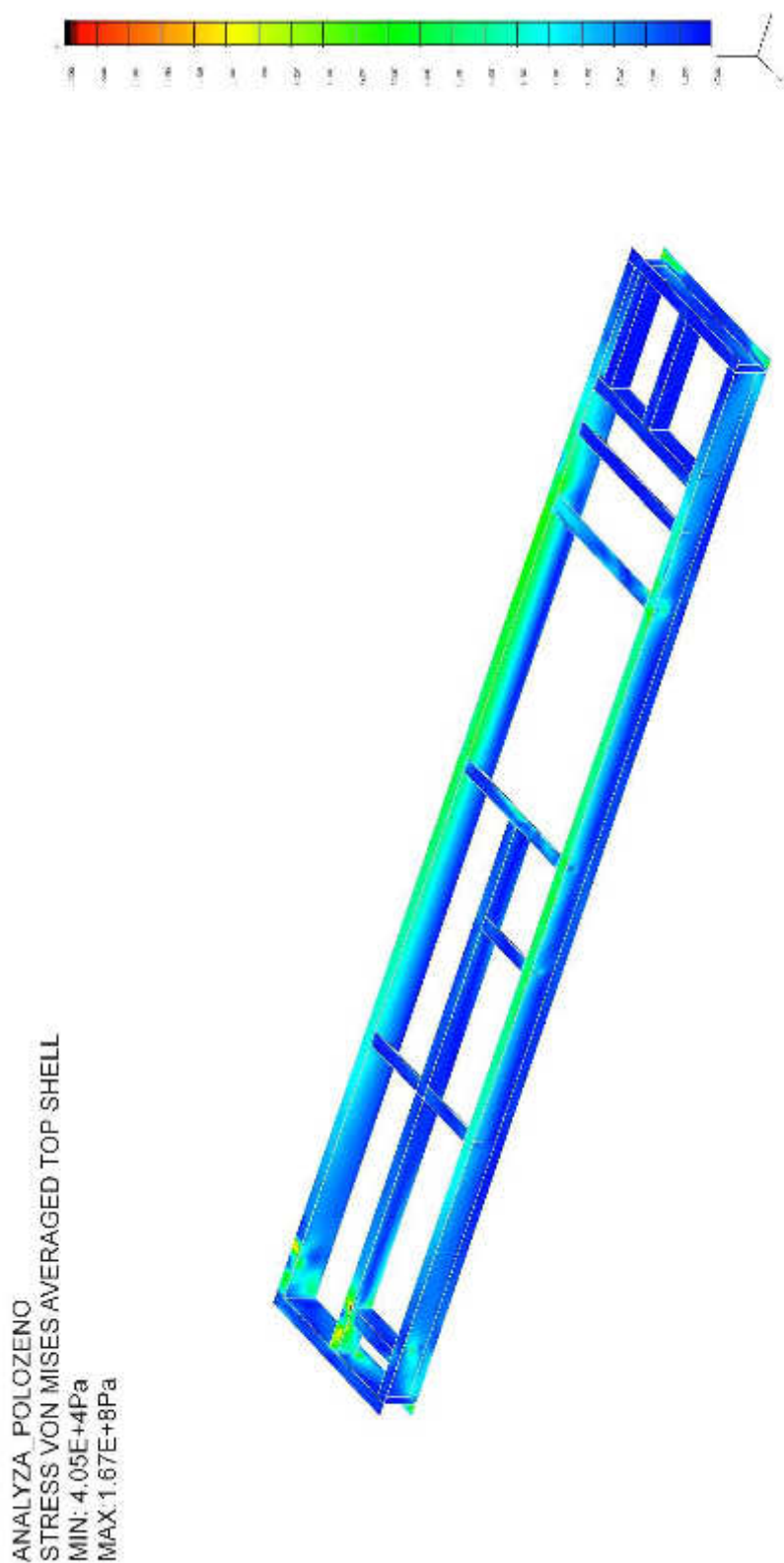
P63 Rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 616MPa



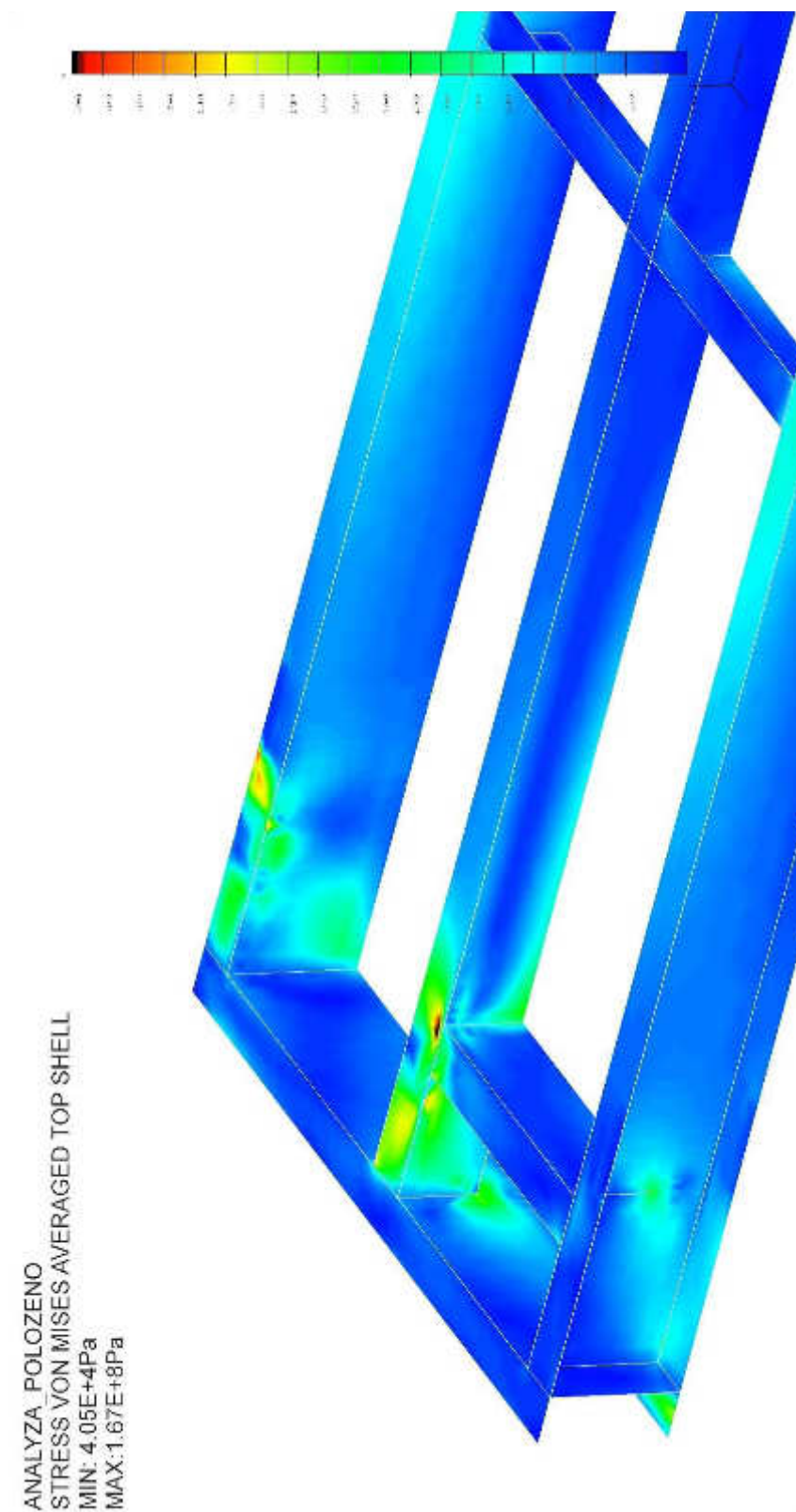
P64 Rám nádrže – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 616MPa



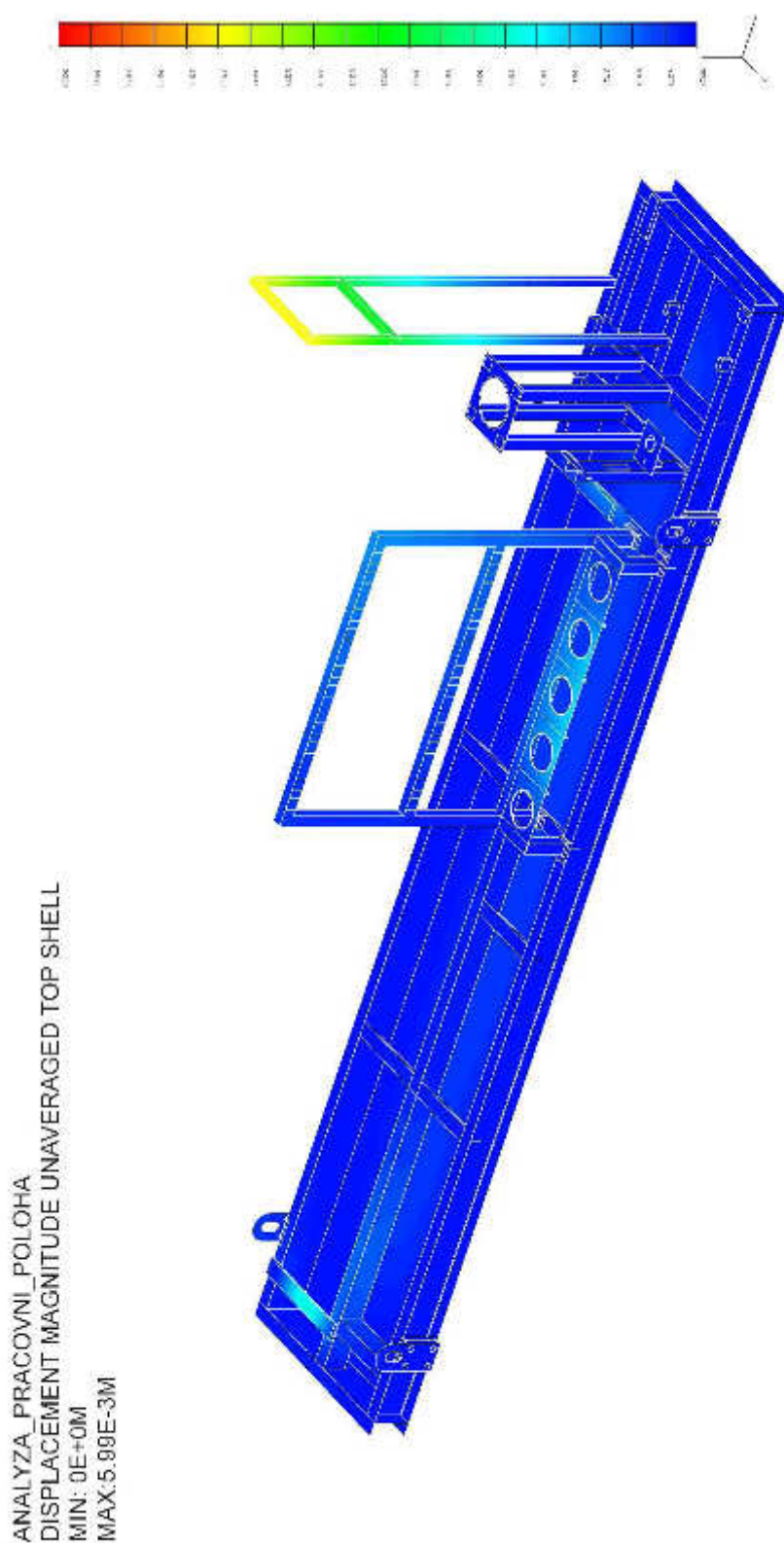
P65 Rám nádrže – pouze nosníky – montážní poloha; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 167MPa



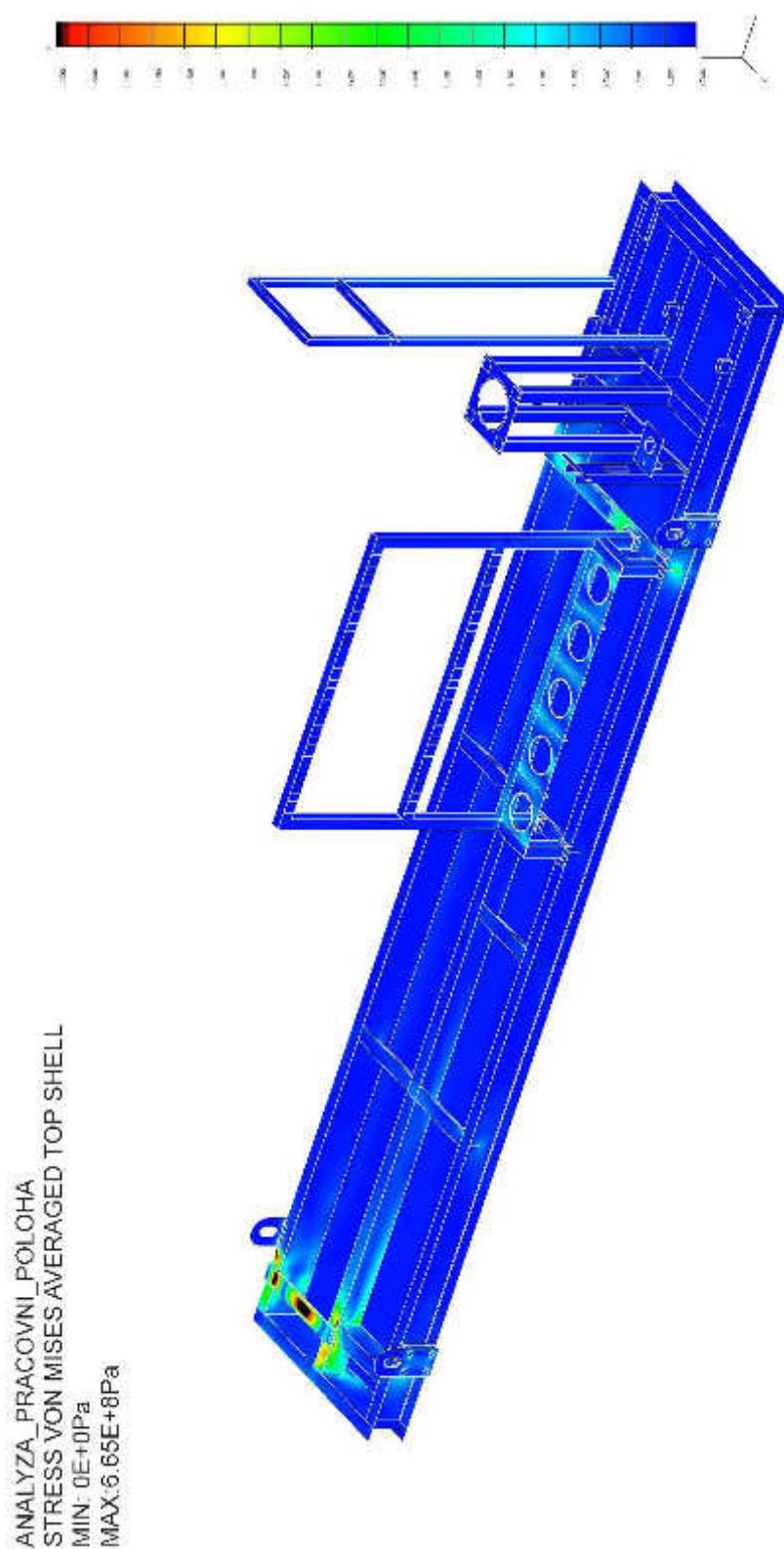
P66 Rám nádrže – pouze nosníky - detail – montážní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 167MPa



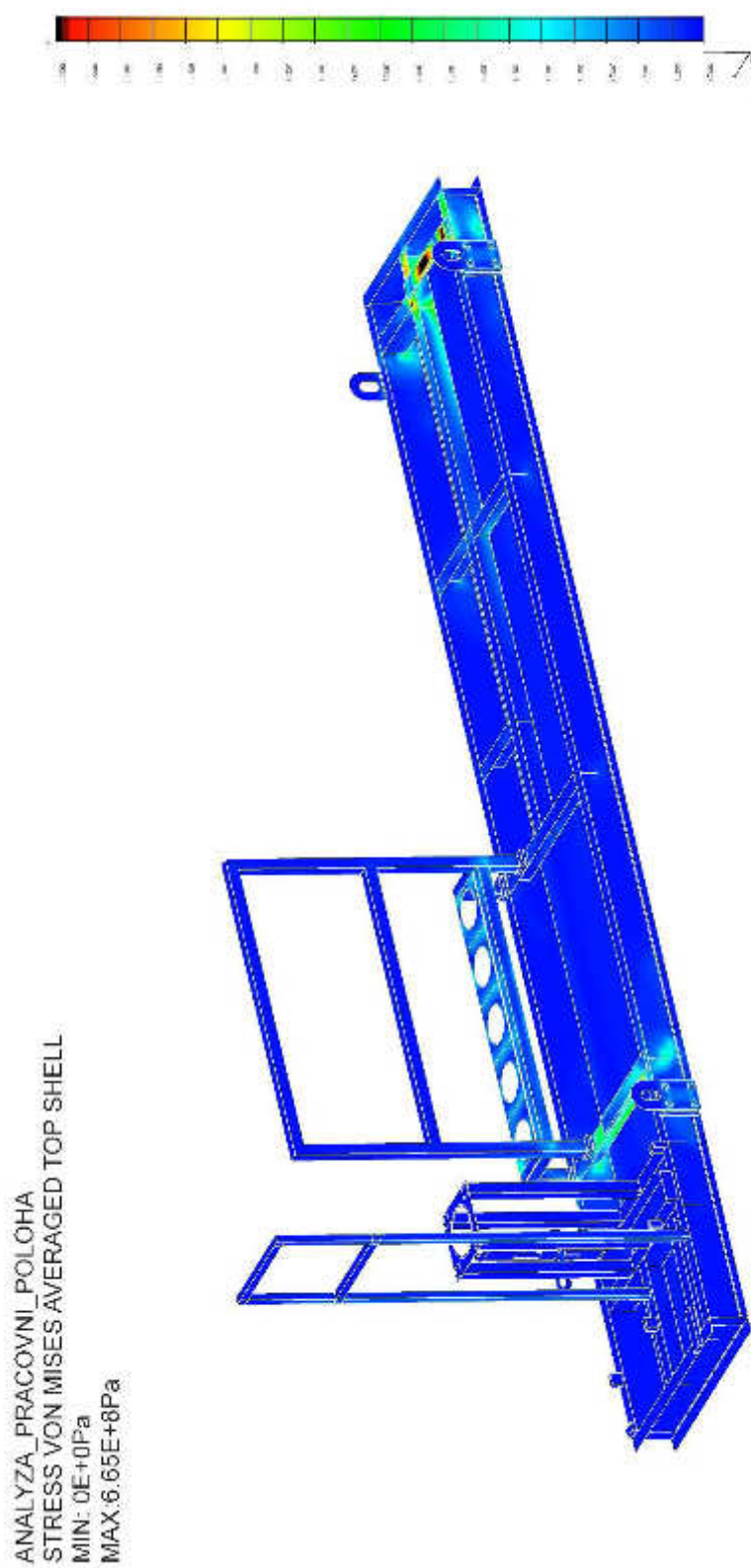
P67 Rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-8mm; max. deformace 5,99mm



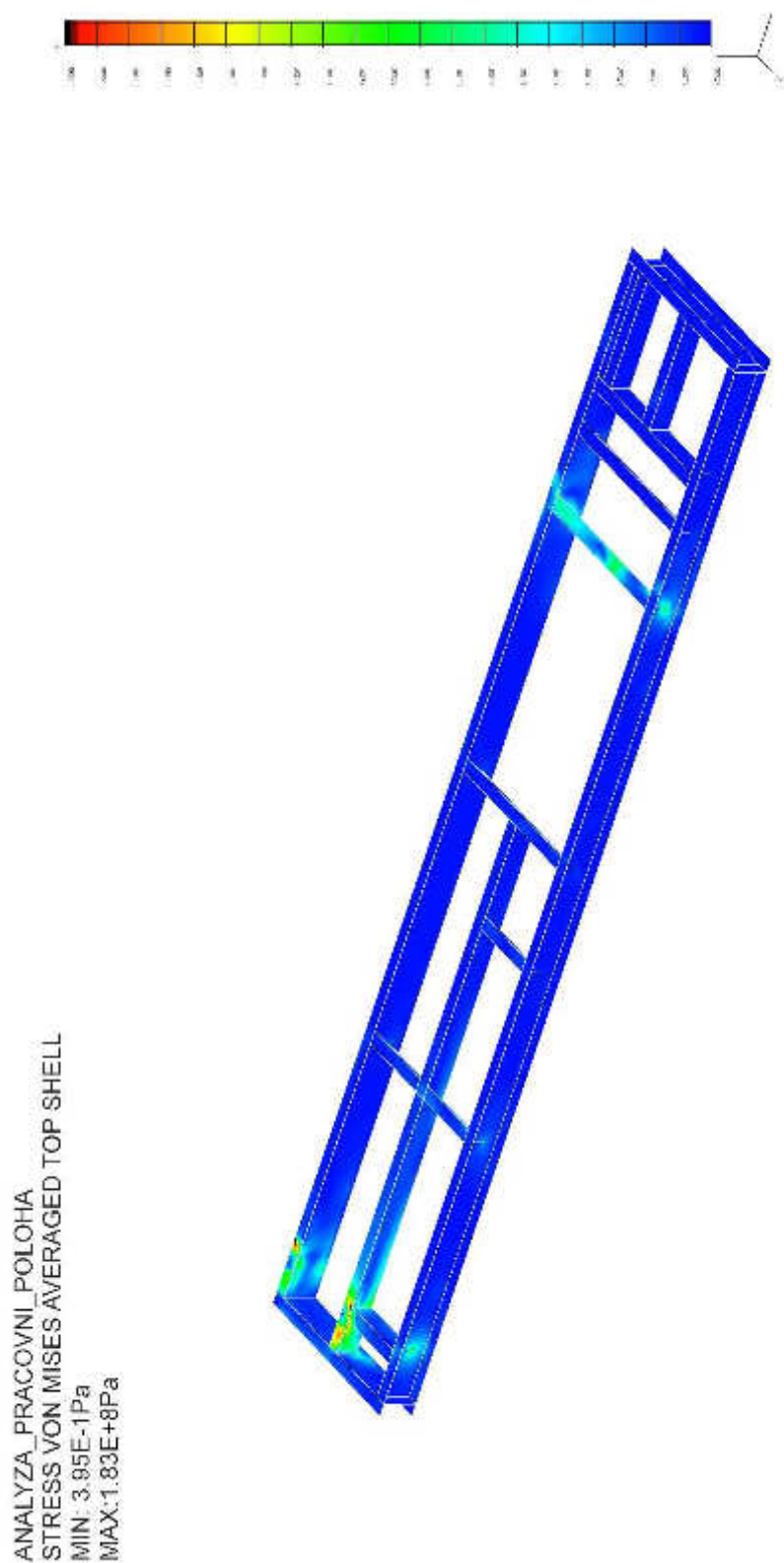
P68 Rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 665MPa



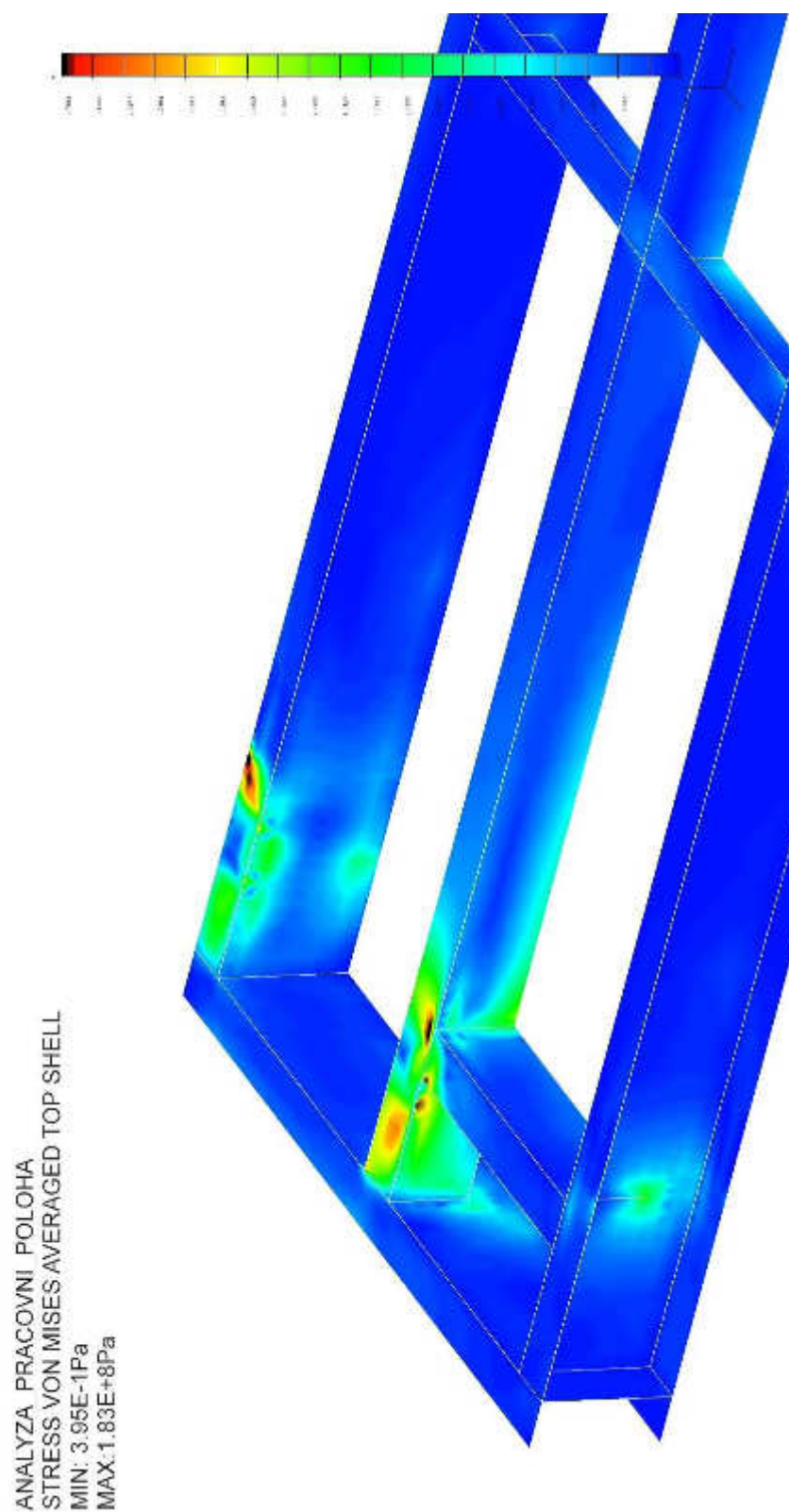
P69 Rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 665MPa



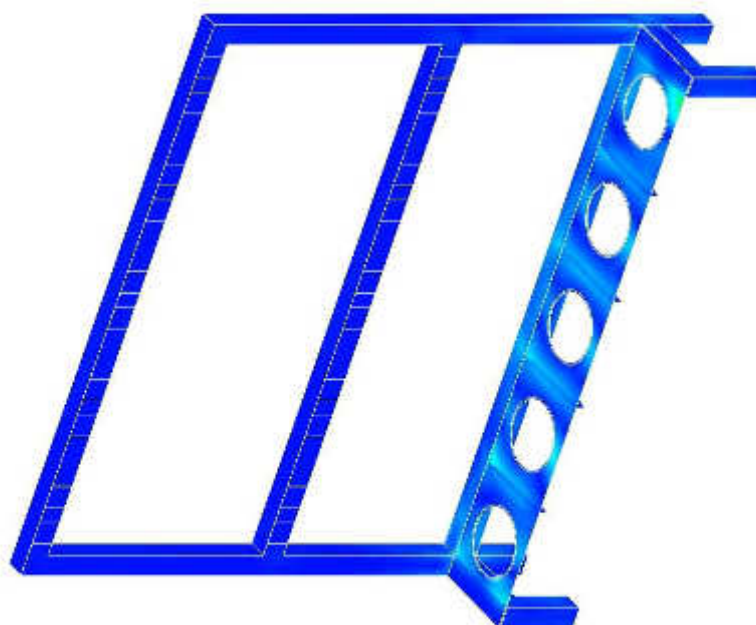
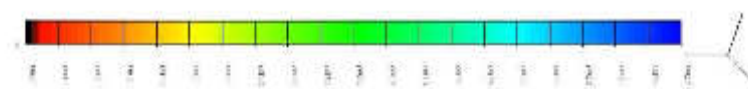
P70 Rám nádrže – pouze nosníky – pracovní poloha; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 183MPa



P71 Rám nádrže – pouze nosníky - detail – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 183MPa

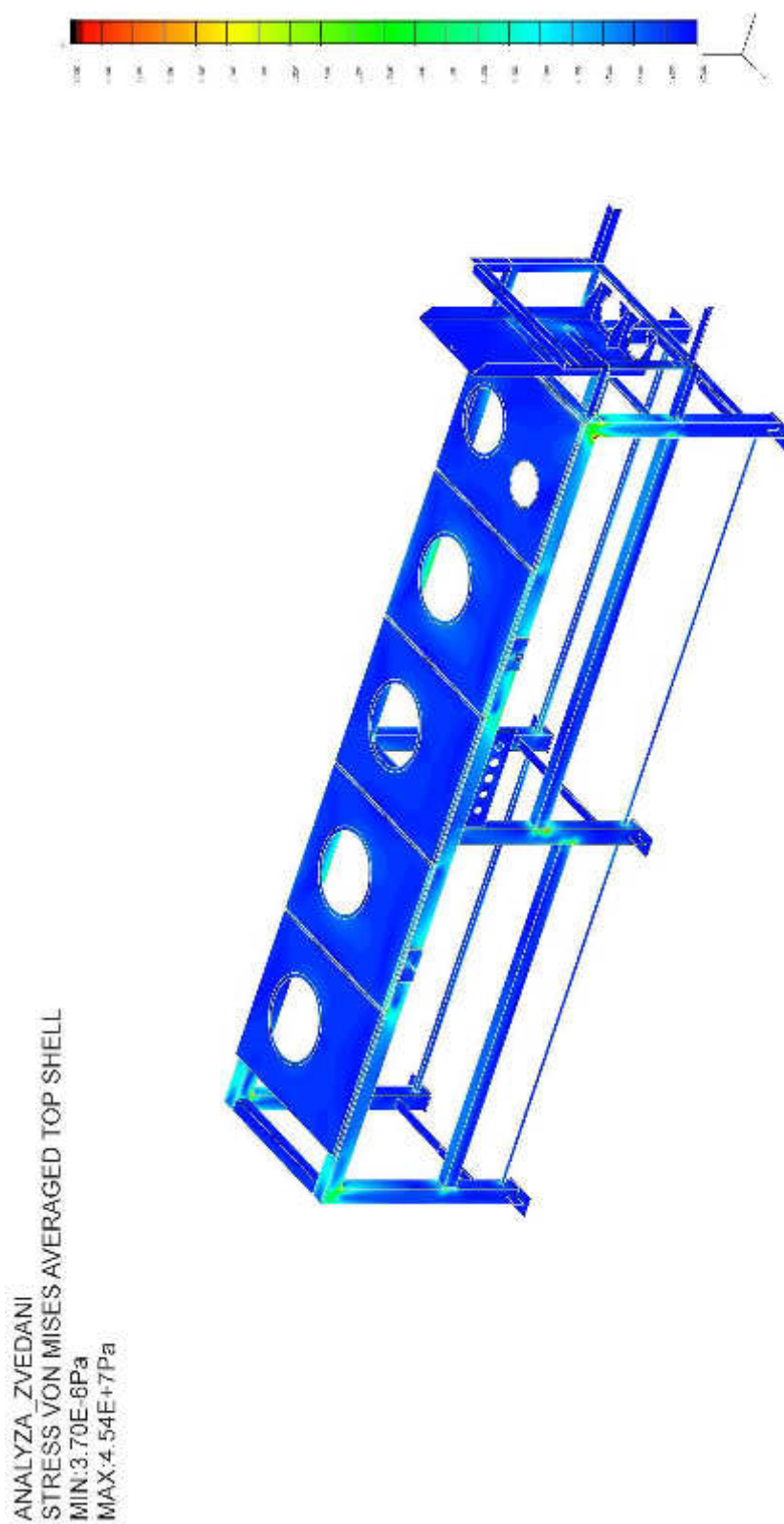


P72 Rám nádrže – akumulátorová konzola – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 114MPa

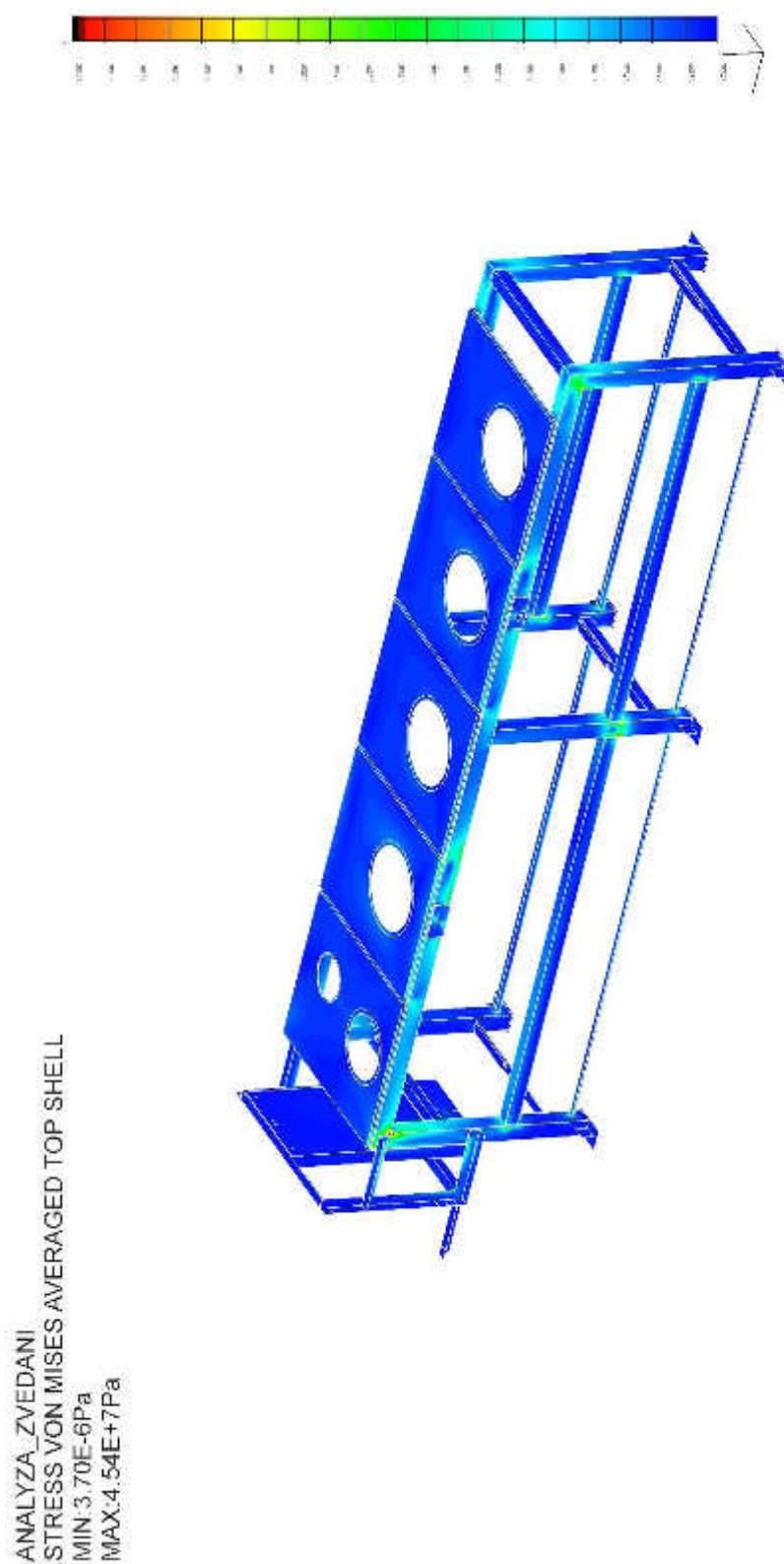


ANALYZA_PRACOVNI_POLOHA
STRESS VON MISES AVERAGED TOP SHELL
MIN: 4.00E+4Pa
MAX: 1.14E+6Pa

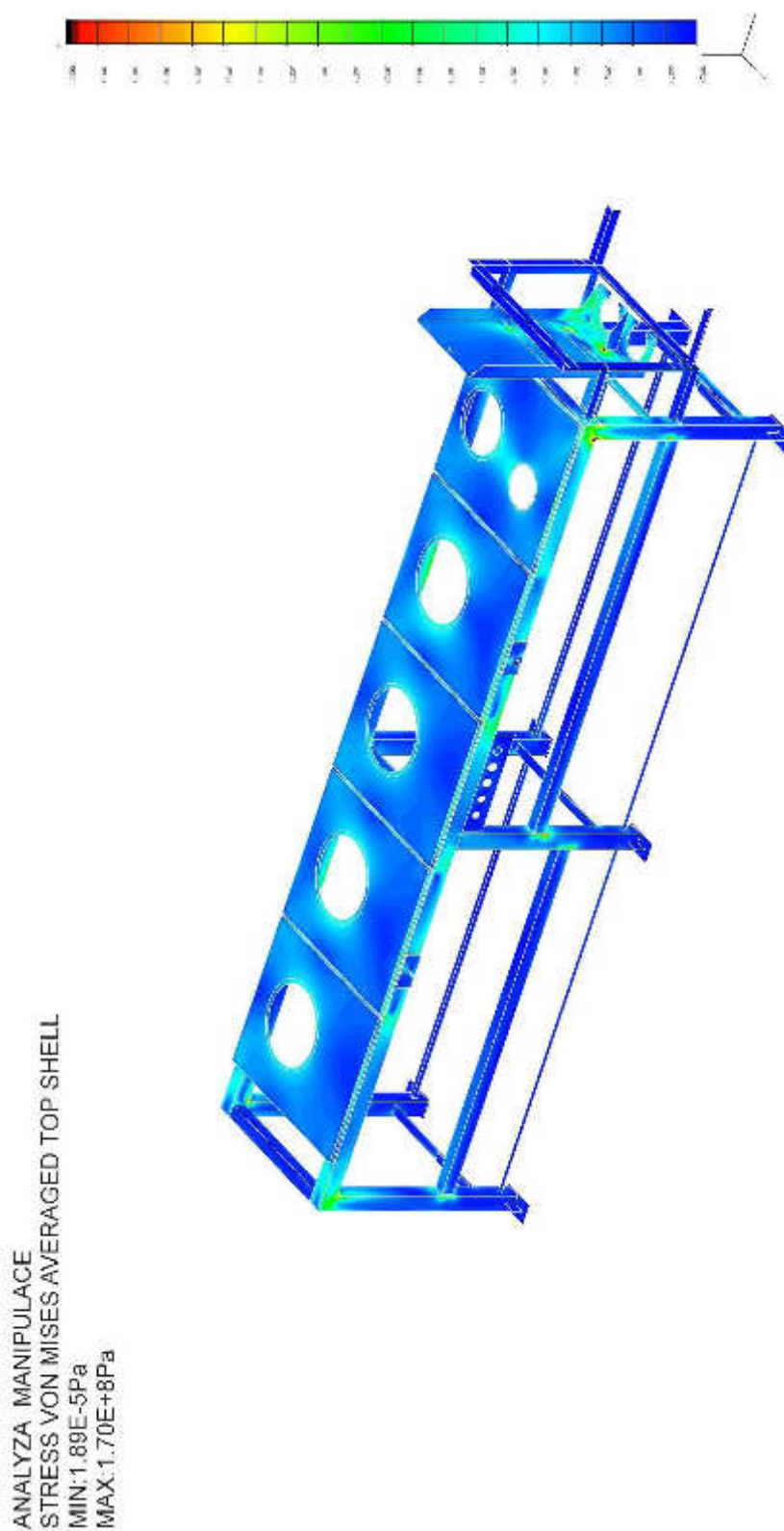
P73 Optimalizovaný rám pohonné jednotky – zvedání; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 45MPa



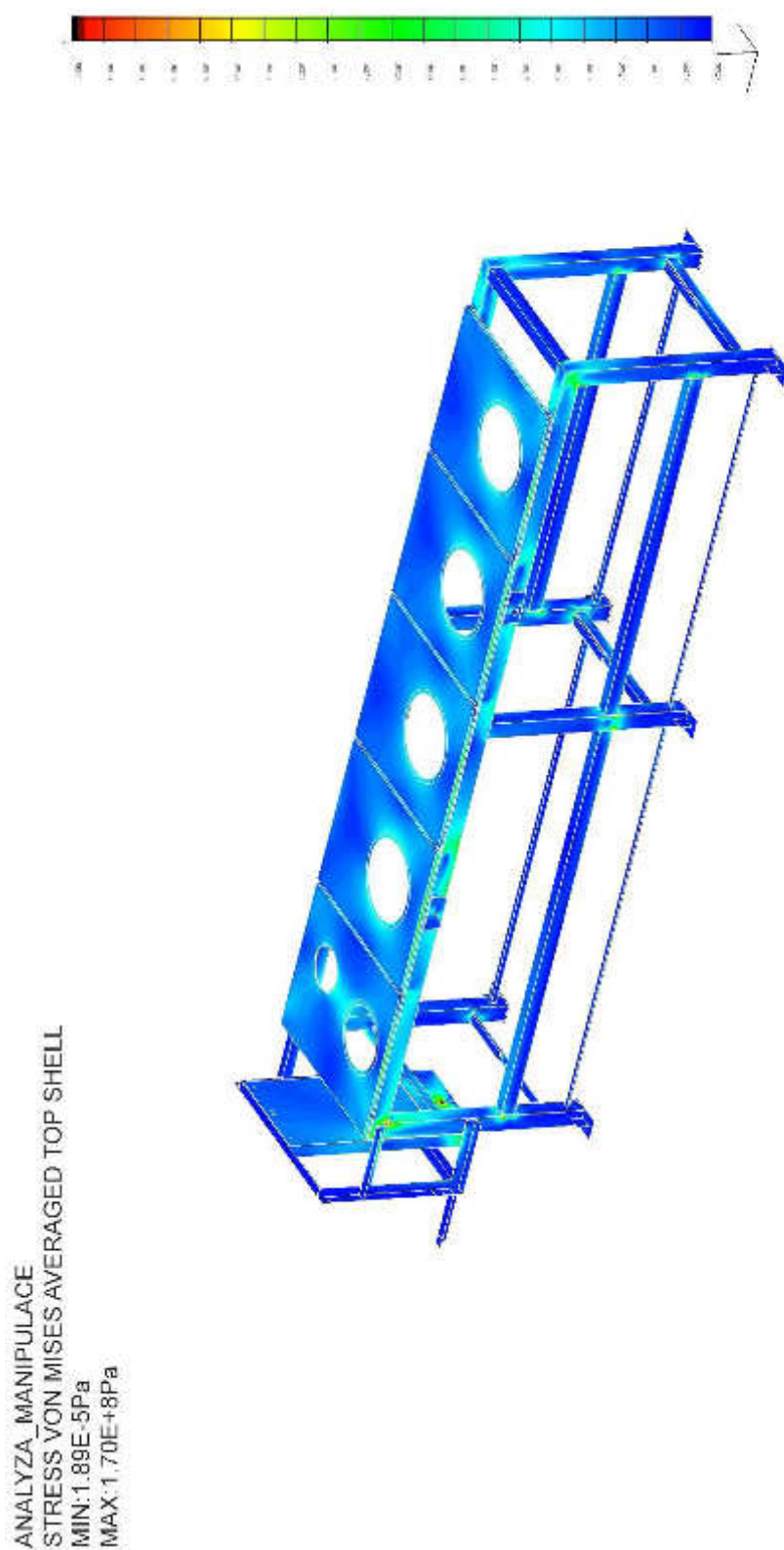
P74 Optimalizovaný rám pohonné jednotky – zvedání; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 45MPa



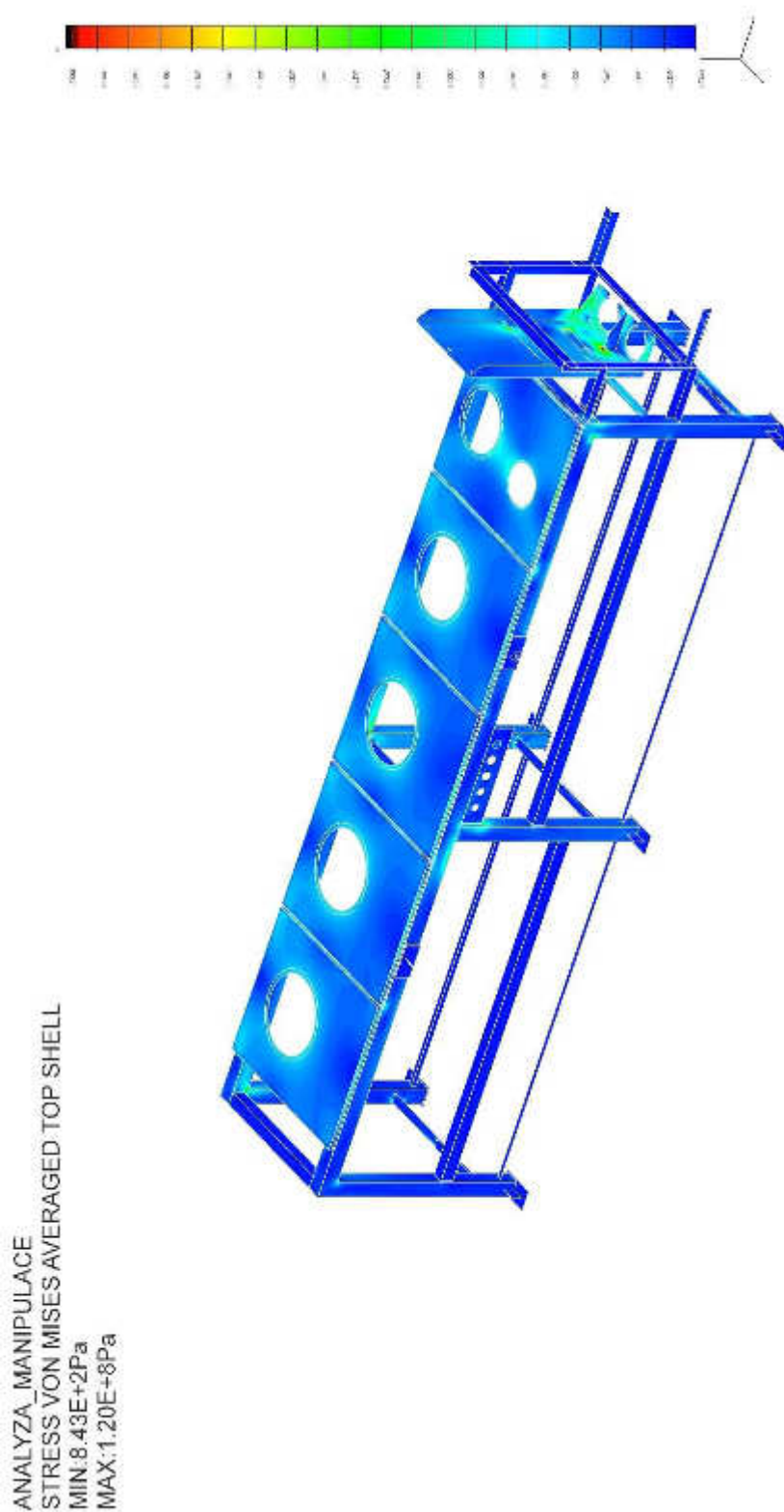
P75 Optimalizovaný rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 170MPa



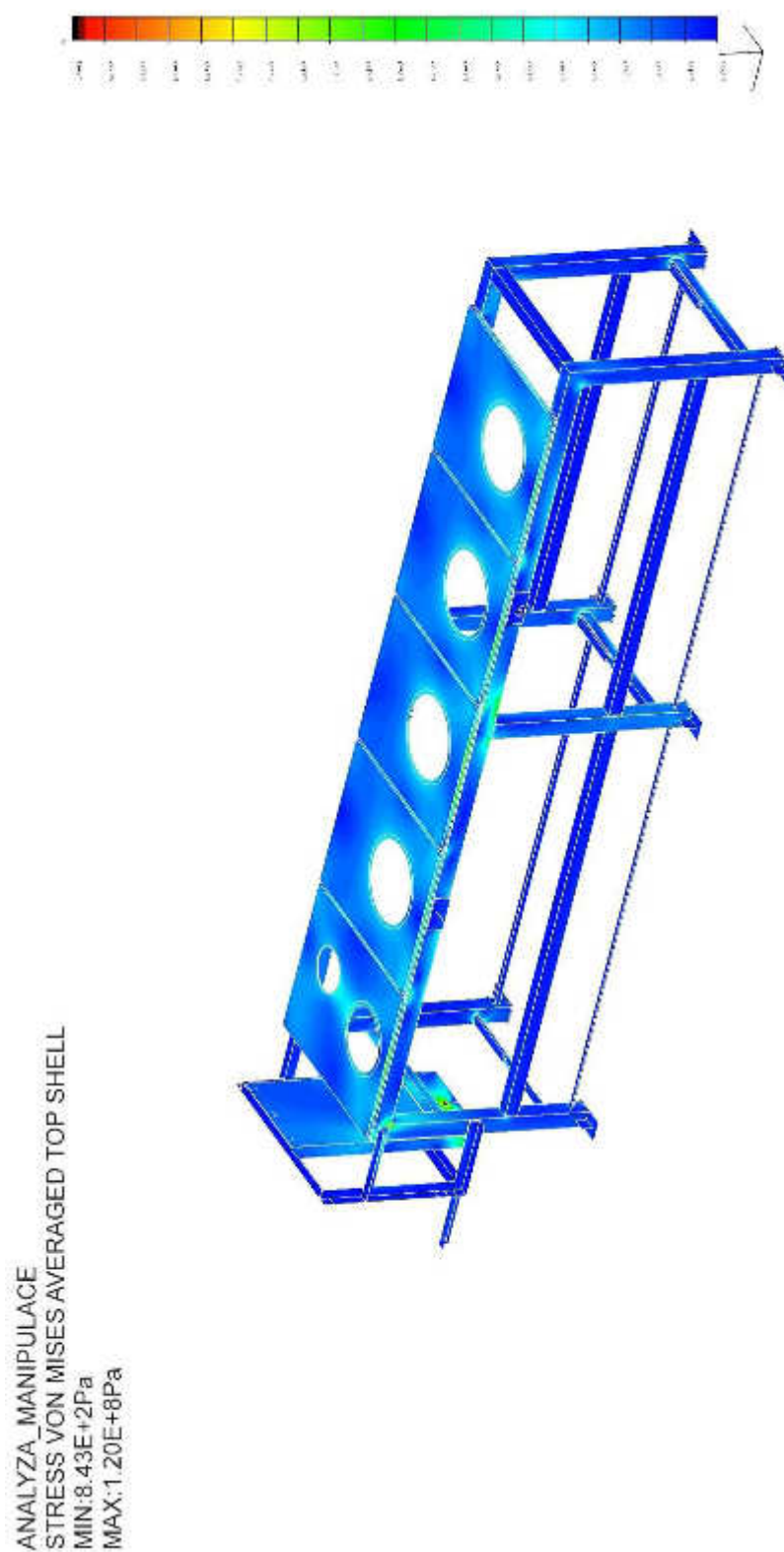
P76 Optimalizovaný rám pohonné jednotky – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 170MPa



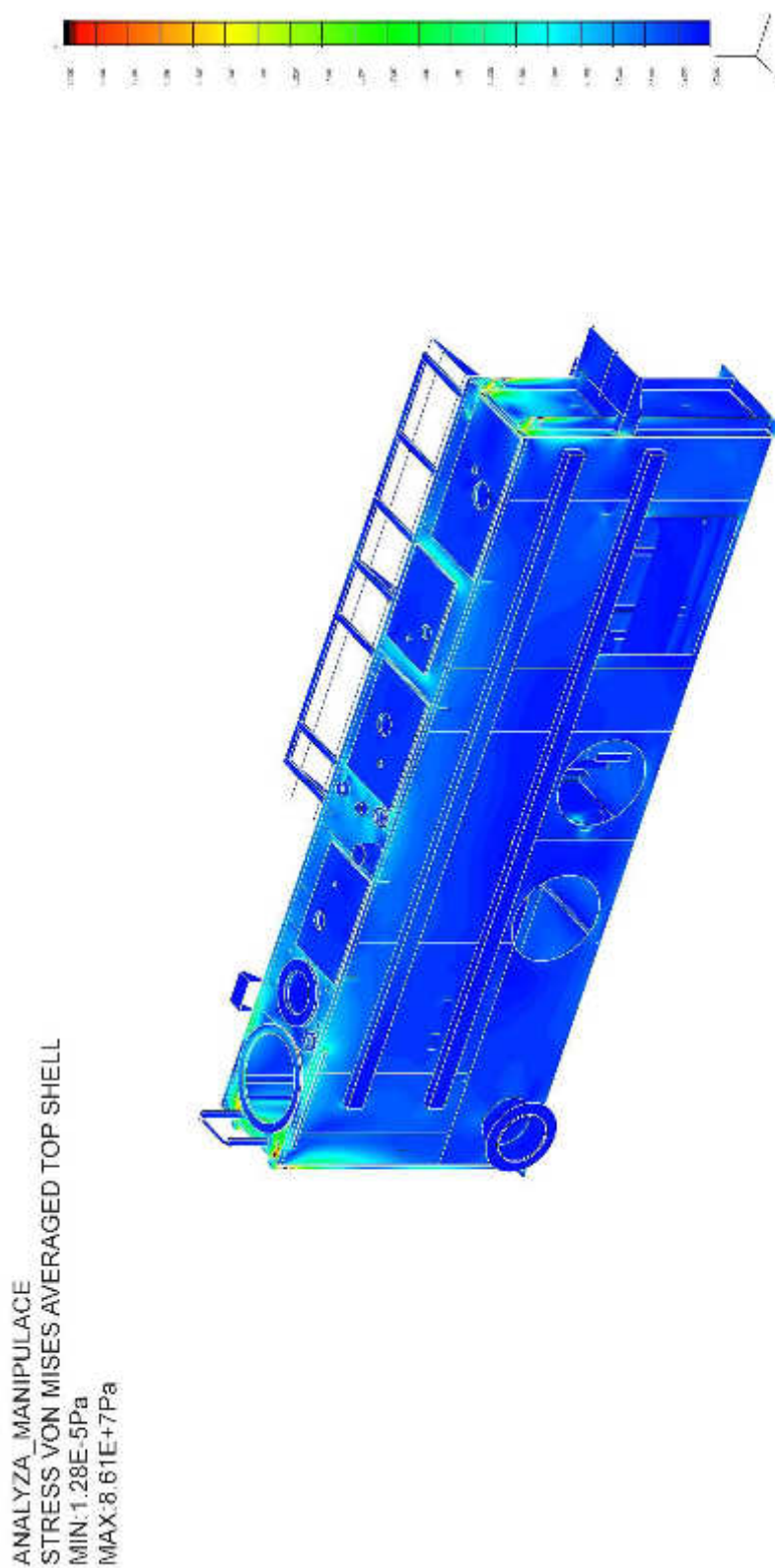
P77 Optimalizovaný rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 120MPa



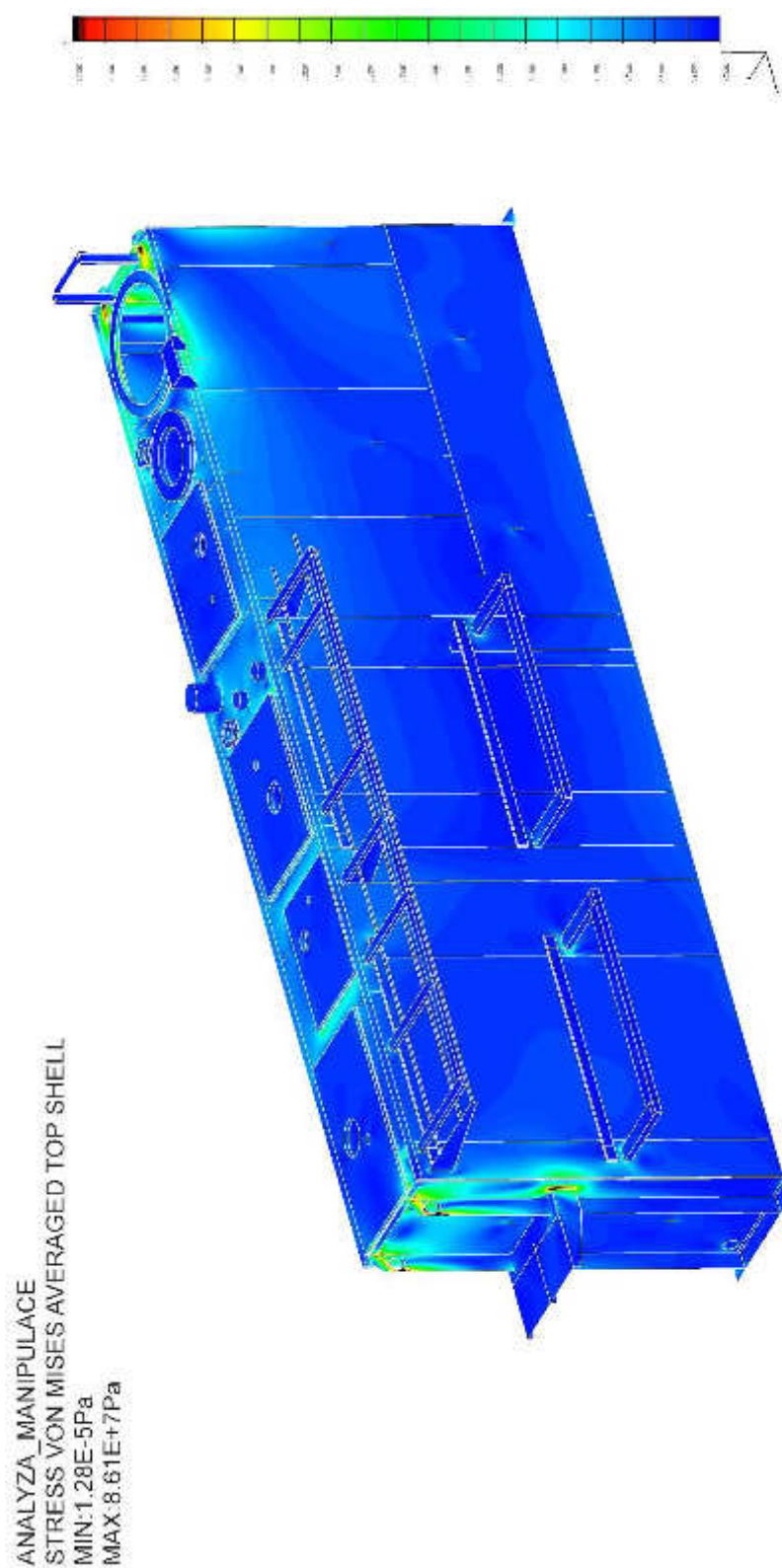
P78 Optimalizovaný rám pohonné jednotky – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-100MPa; max. napětí 120MPa



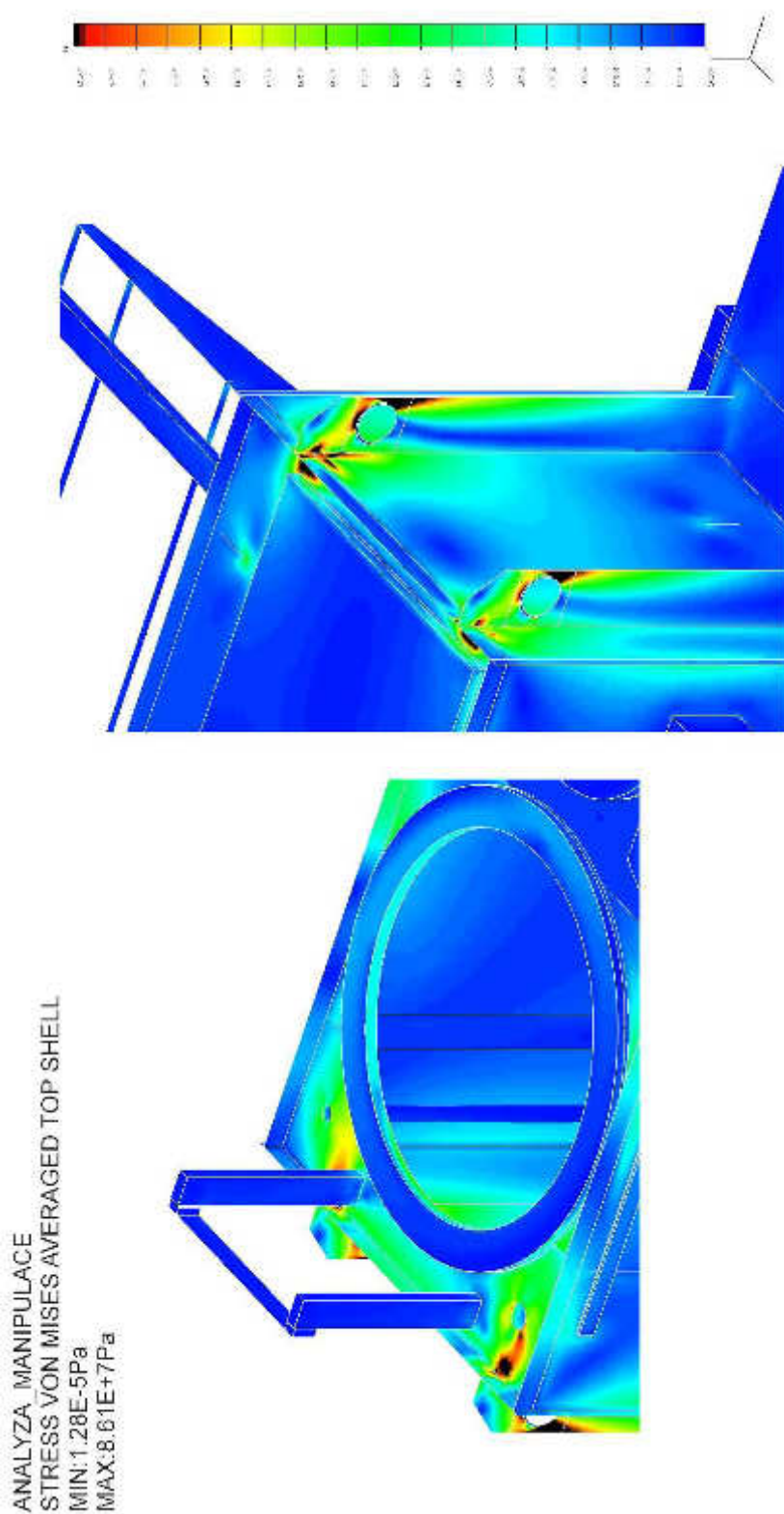
P79 Optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa



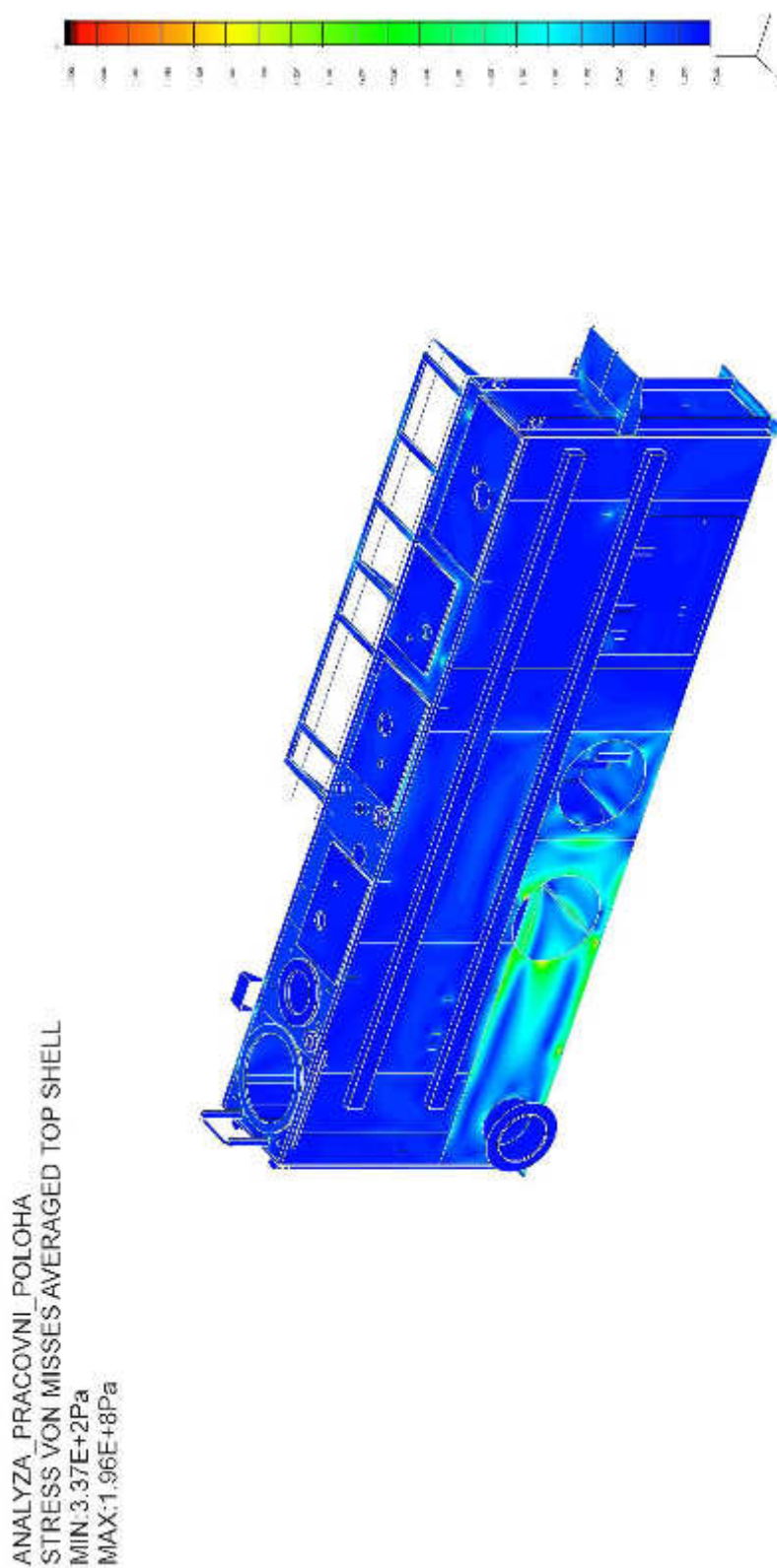
P80 Optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa



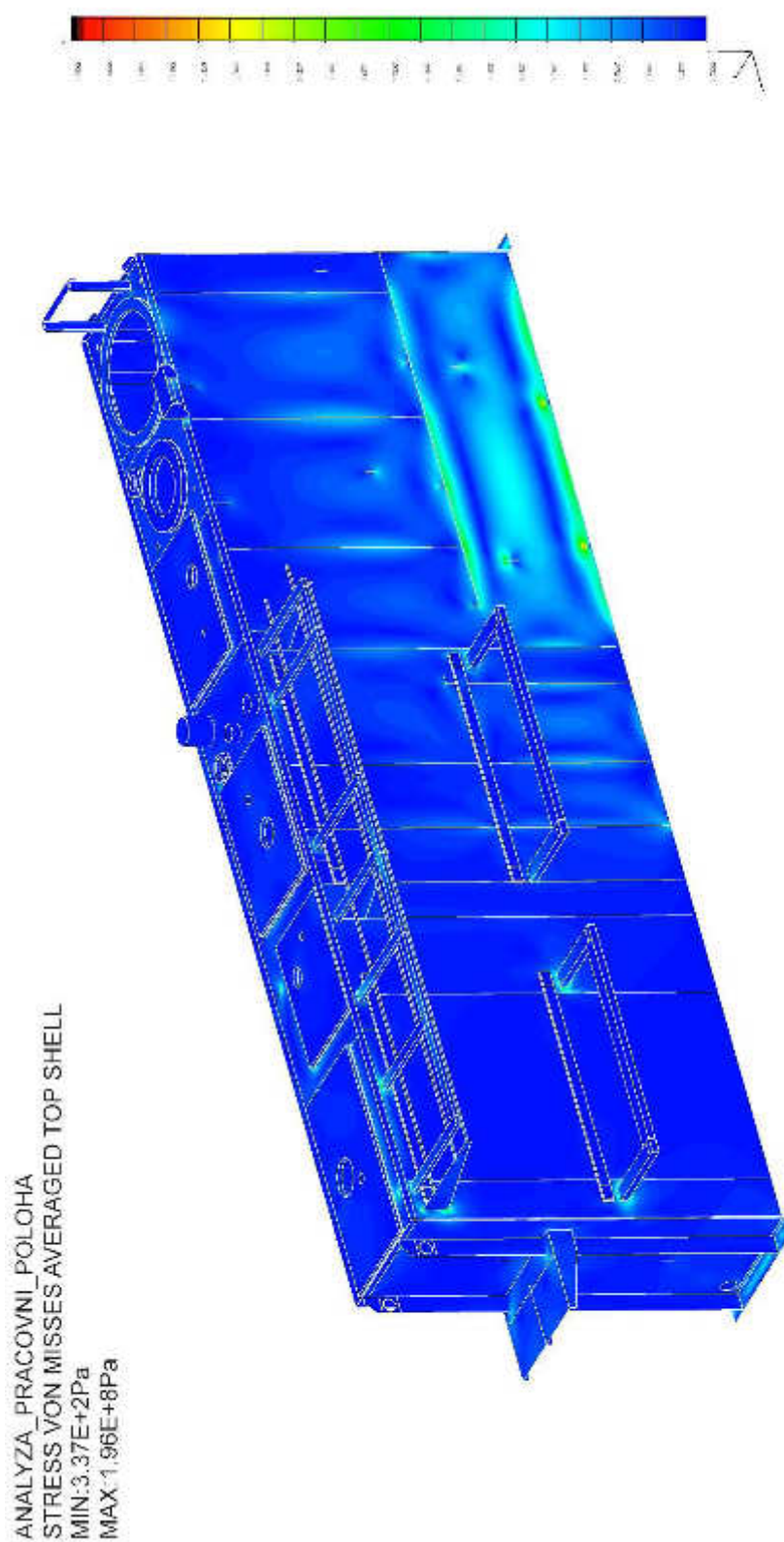
P81 Optimalizovaná nádrž – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení
Top shell; rozsah stupnice 0-25MPa; max. napětí 86MPa



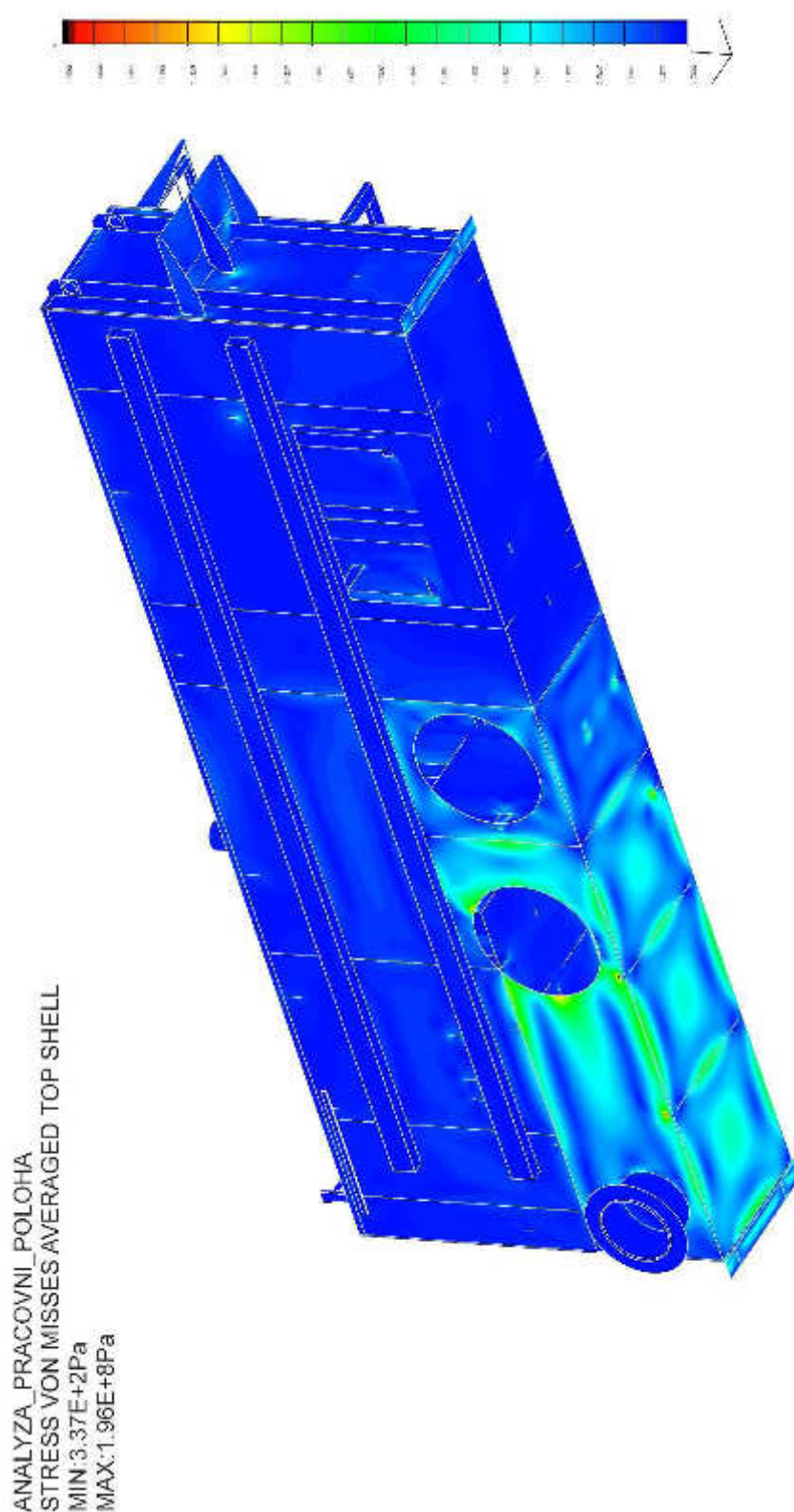
P82 Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa



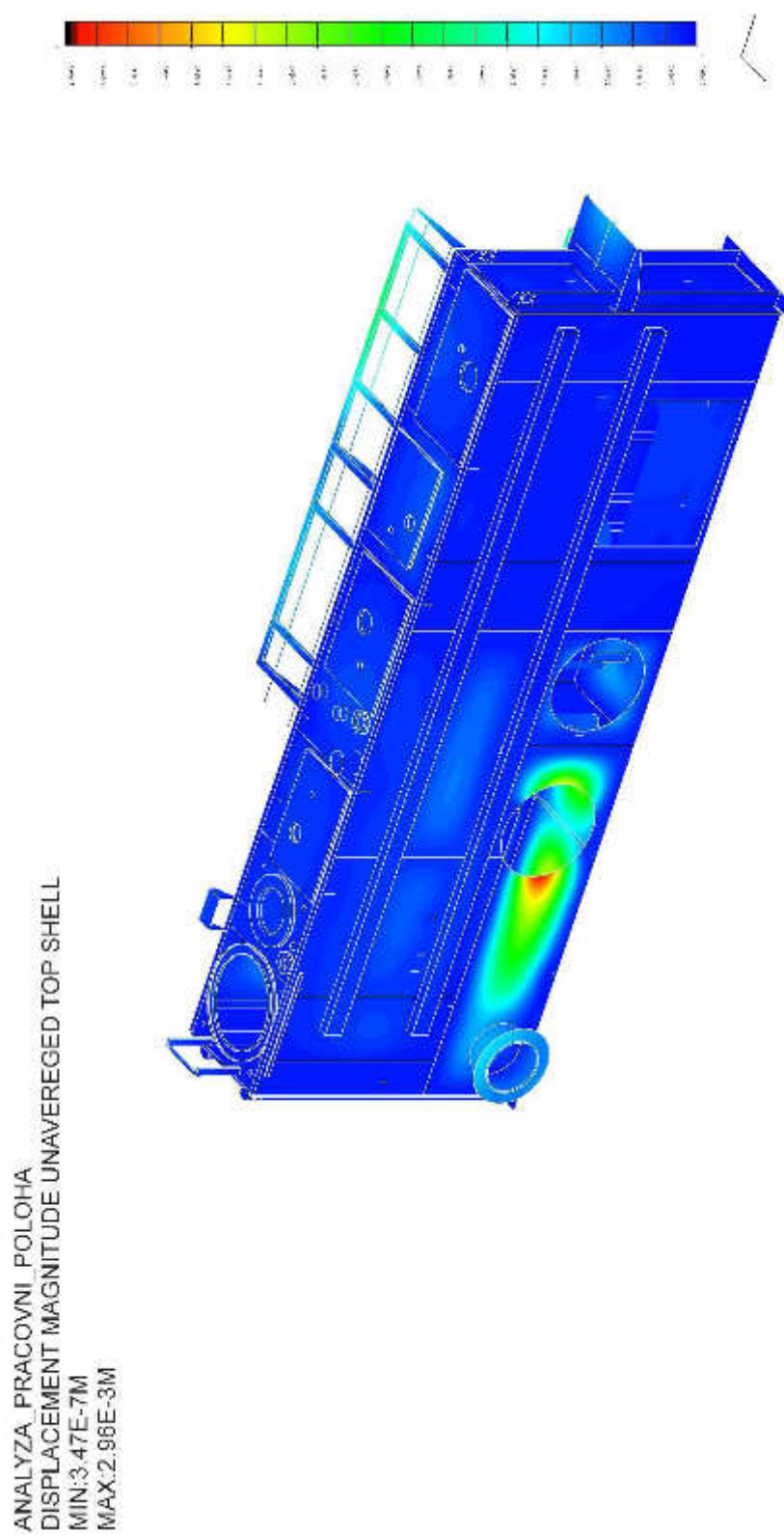
P83 Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMH;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa



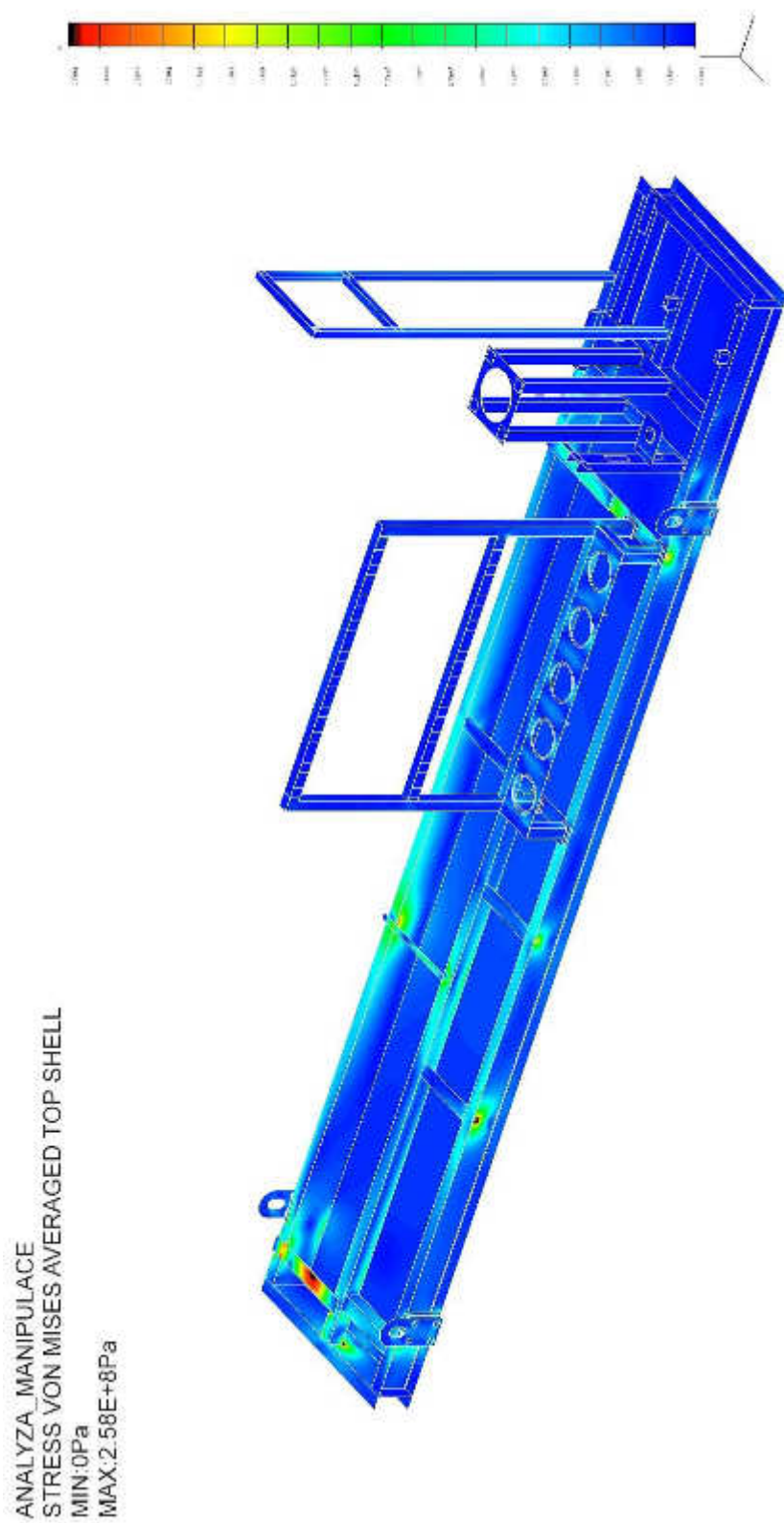
P84 Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 196MPa



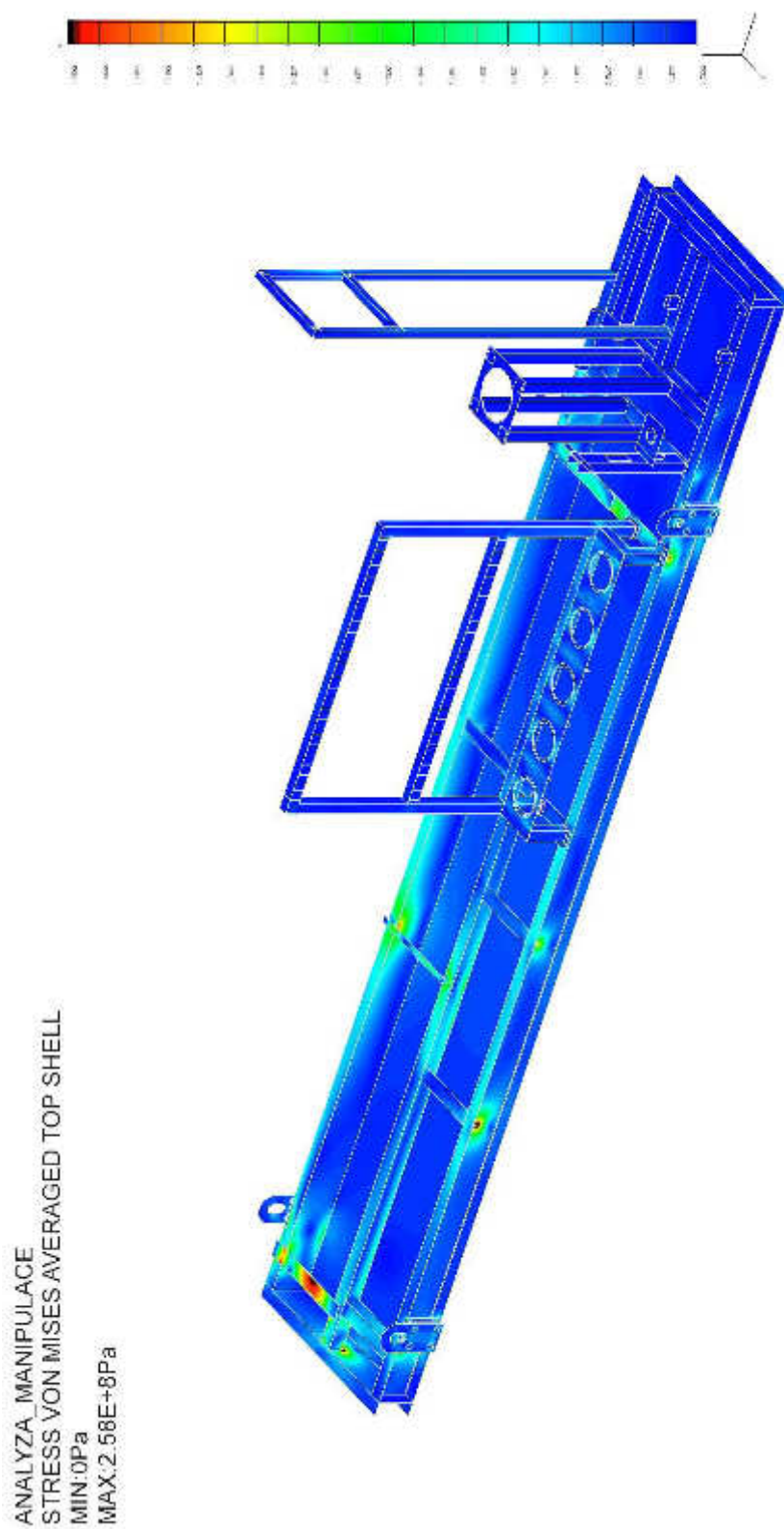
P85 Optimalizovaná nádrž – pracovní poloha; nedeformovaný model; deformace;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-3mm; max. deformace 2,96mm



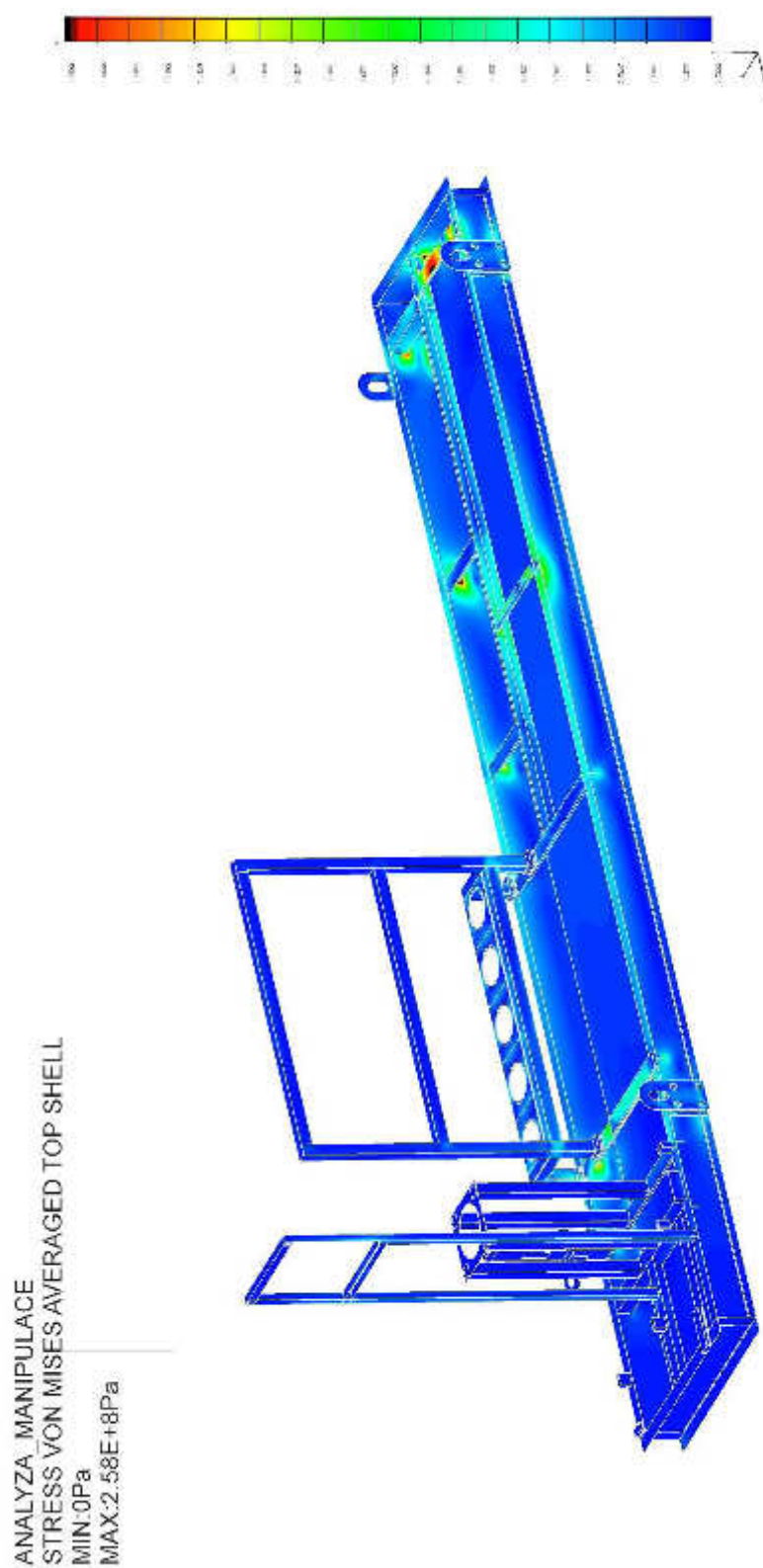
P86 Optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-MPa; max. napětí 258MPa



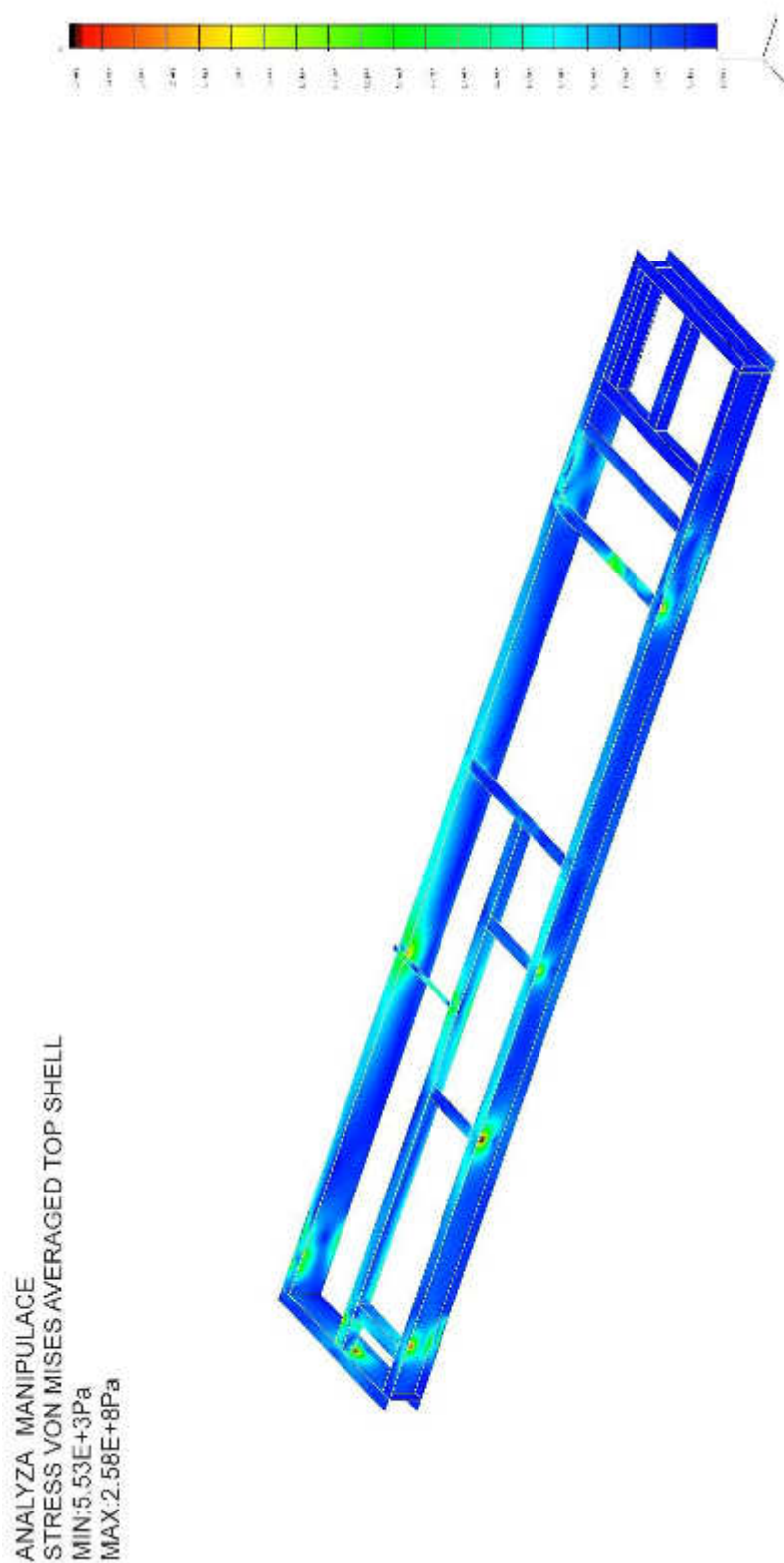
P87 Optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa



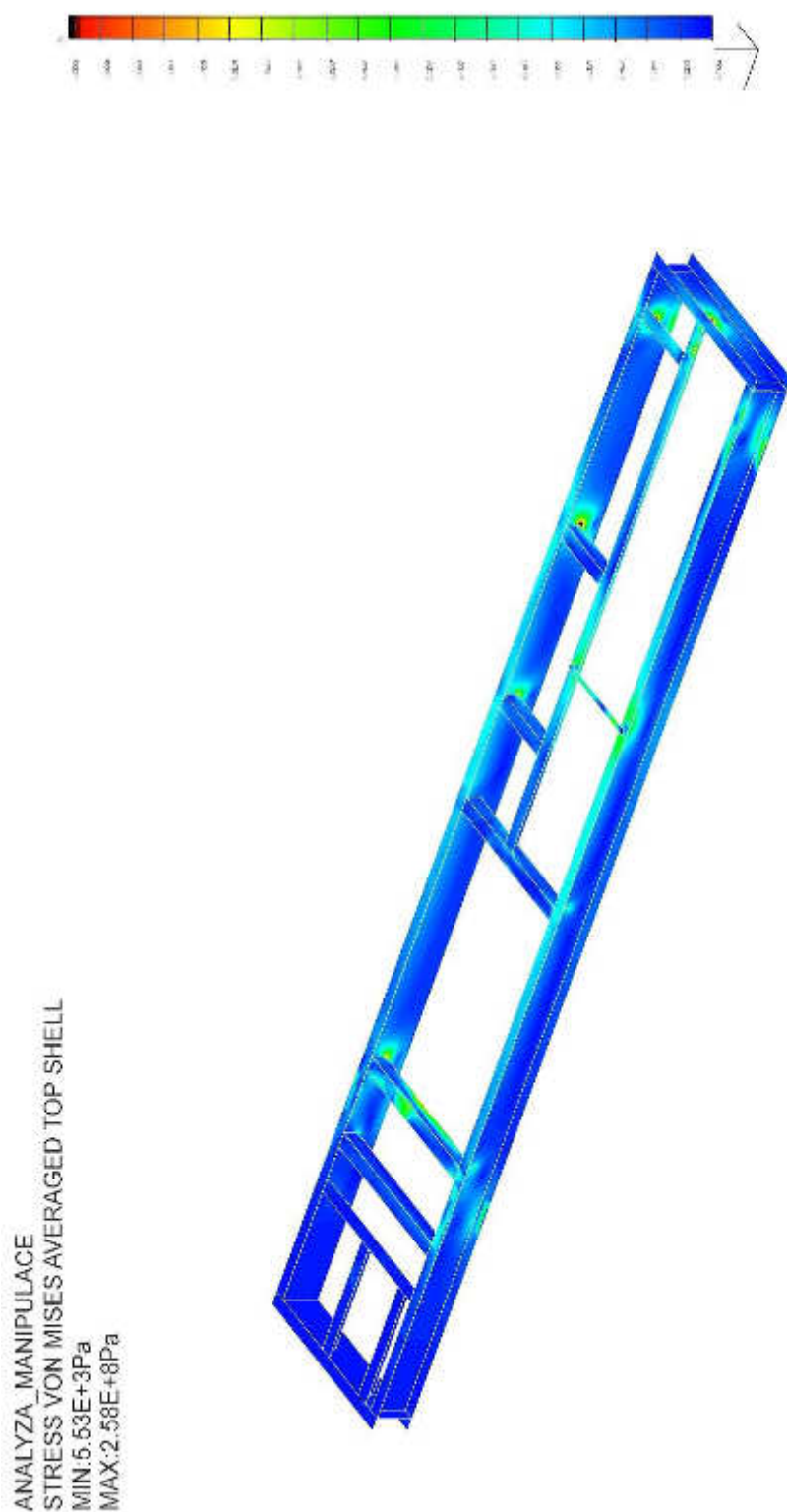
P88 Optimalizovaný rám nádrže – manipulace; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa



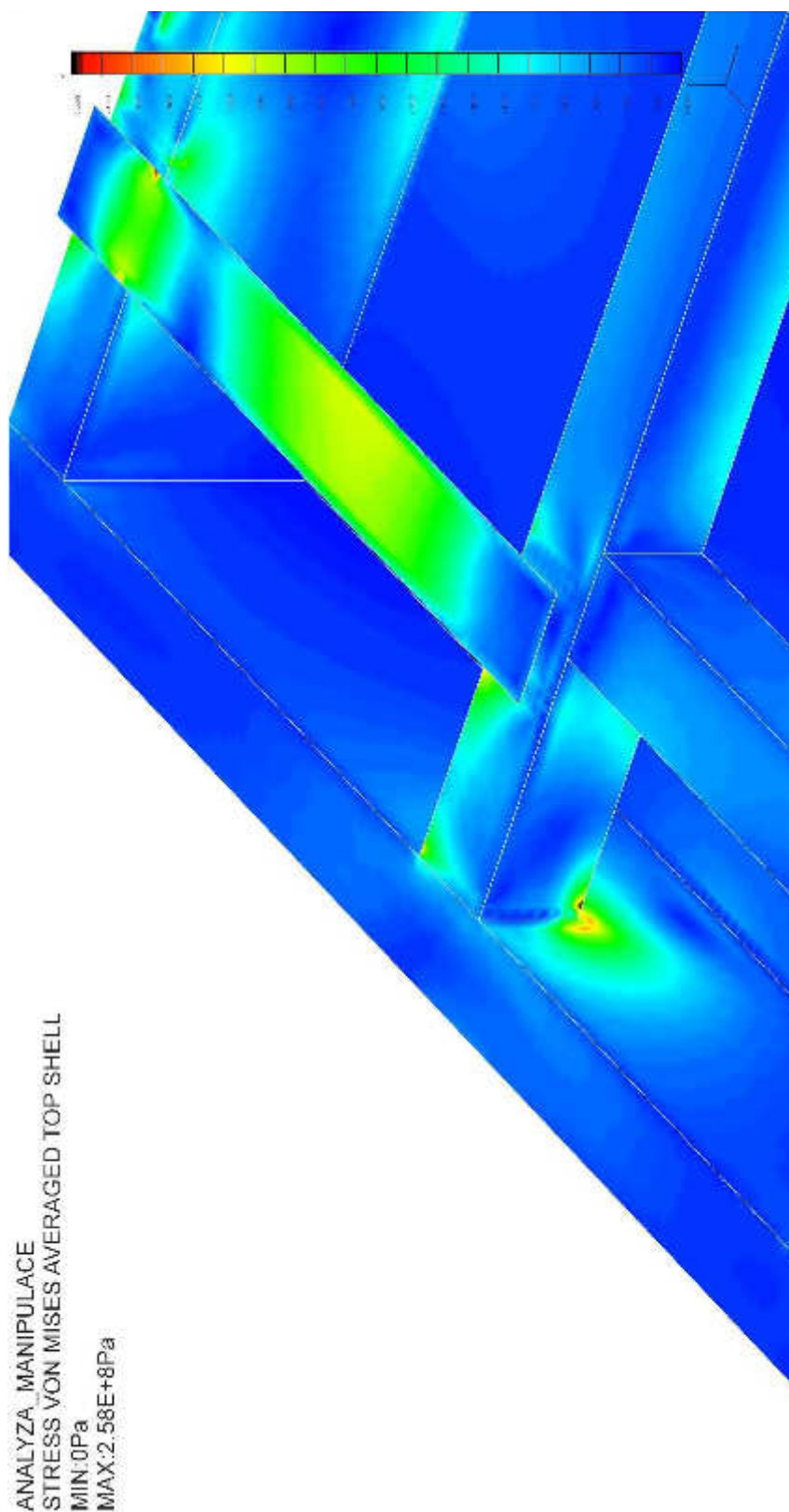
P89 Optimalizovaný rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa



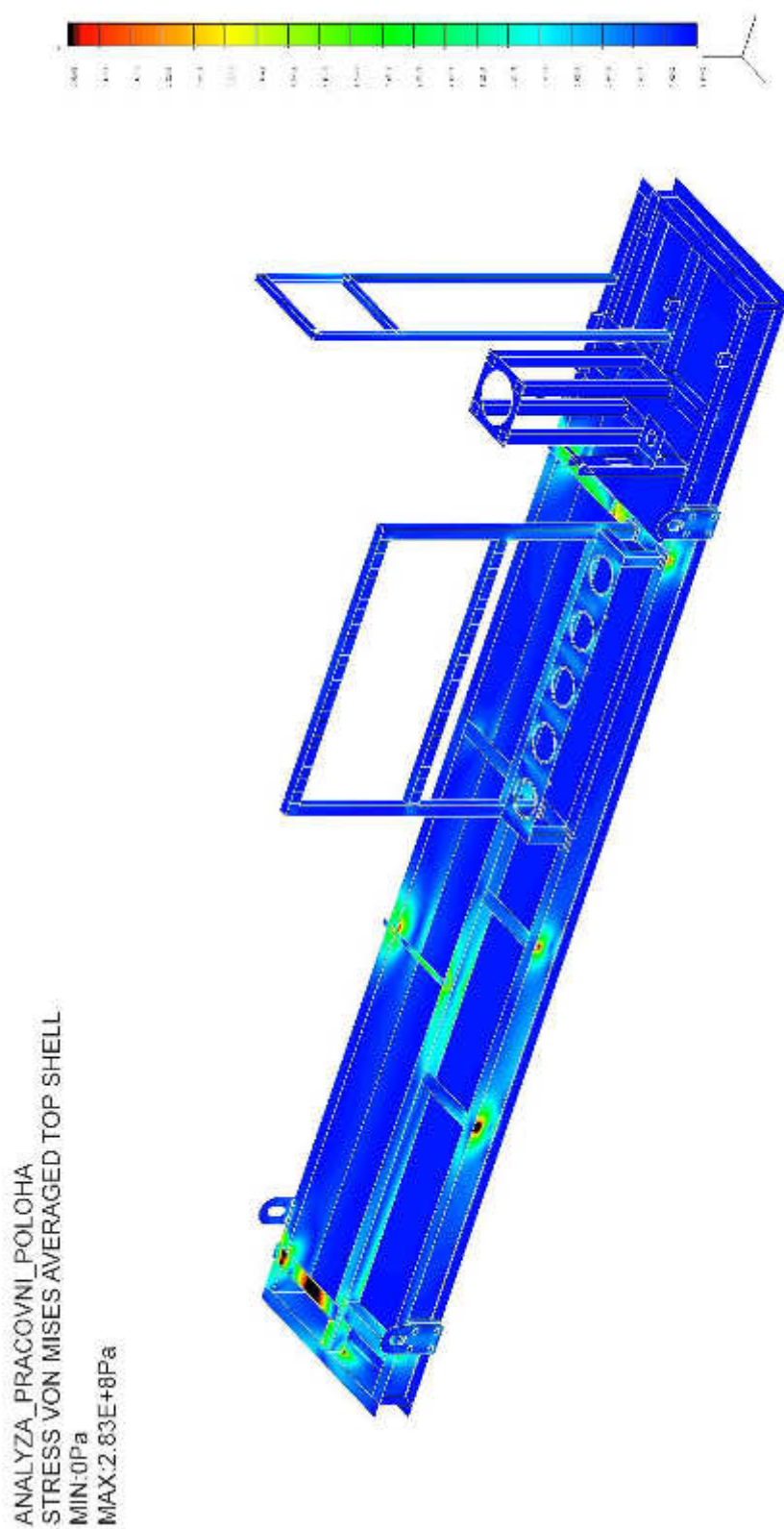
P90 Optimalizovaný rám nádrže – pouze nosníky – manipulace; nedeformovaný model; HMM; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 258MPa



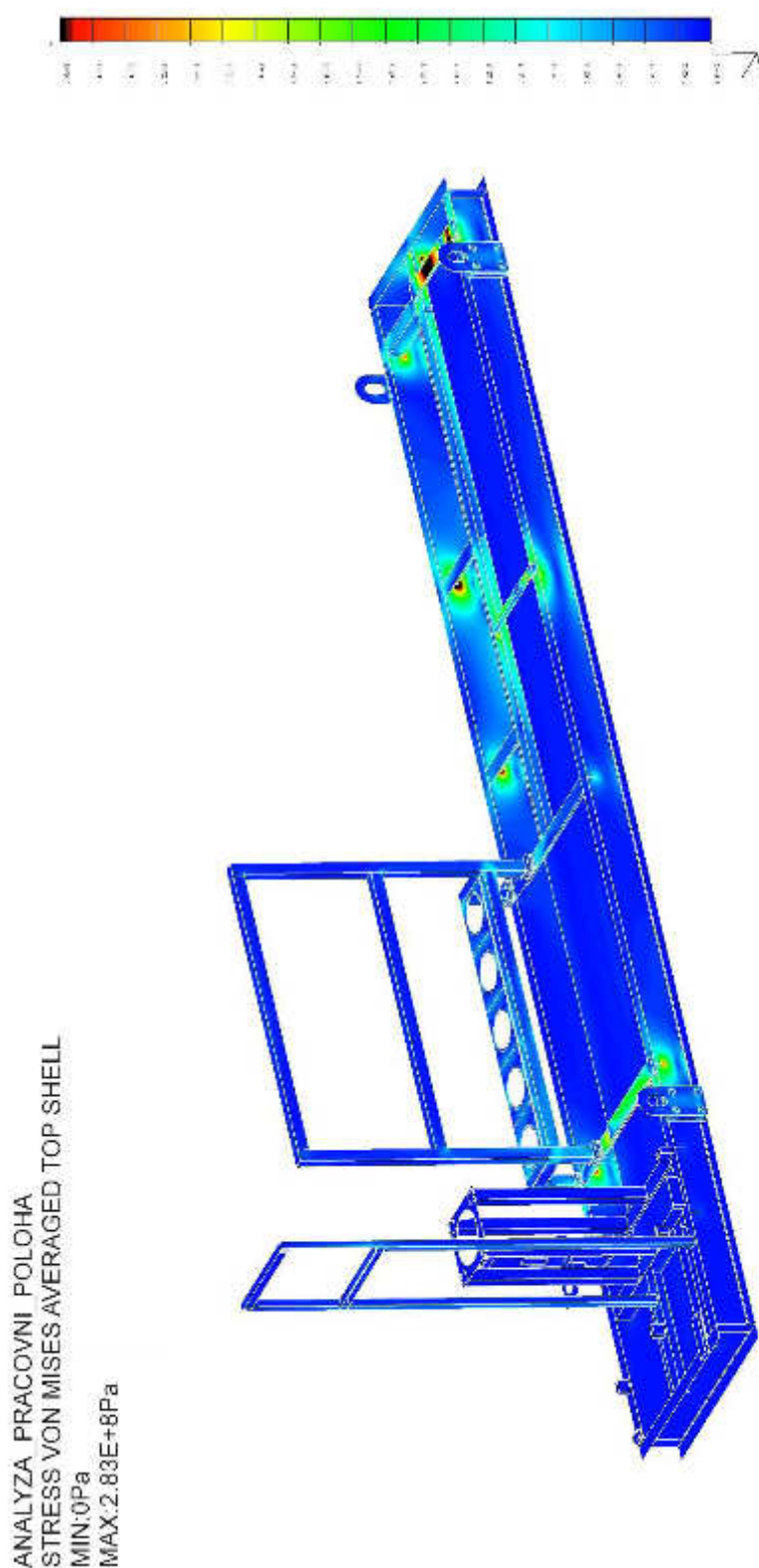
P91 Optimalizovaný rám nádrže – detail – manipulace; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-214MPa; max. napětí 258MPa



P92 Optimalizovaný rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 283MPa



P93 Optimalizovaný rám nádrže – pracovní poloha; nedeformovaný model; HMM;
zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-150MPa; max. napětí 283MPa



P94 Optimalizovaný rám nádrže - detail – pracovní poloha; nedeformovaný model;
HMH; zobrazení Top shell; rozsah stupnice 0-214MPa; max. napětí 283MPa

